

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

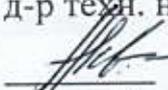
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н. П. ОГАРЁВА»

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.

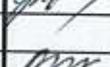
Объектом разработки является сравнительная оценка теплопередачи емкостного теплообменника в традиционном (с неподвижным) и колеблющимся змеевиком..

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
		Могдарев М.П.		
		Левцев А.П.		
		Лысяков А.И.		
		Левцев А.П.		
Гидроаккумулятор с импульсным подогревом горячей воды			Лит.	Лист
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

3.2.4 Программный комплекс LGraph	58
4 Экспериментальные исследования	59
4.1 Планирование эксперимента	59
4.2 Планирование и результаты эксперимента в различных режимах	62
4.2.1 Планирование и результаты эксперимента в стационарном режиме.	62
4.2.2 Планирование и результаты эксперимента в импульсном режиме, (частота 1 Гц).	64
4.2.3 Планирование и результаты эксперимента в импульсном режиме, (частота 2 Гц).	67
4.2.4 Планирование и результаты эксперимента в импульсном режиме, (частота 3 Гц).	69
4.2.5 Сравнительная оценка теплопередачи емкостного теплообменника.	71
4.2.6 Математическое моделирование результатов эксперимента в импульсном режиме, (частота 2 Гц).	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	76
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	78

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]

1.2 Существующие способы повышения теплопередачи в емкостных теплообменниках

Как известно, емкостные теплообменники имеют довольно большие габаритные размеры, малые коэффициенты теплопередачи ввиду того что среда, омывающая теплопередающую поверхность, находится в состоянии относительного покоя и циркулирует лишь из-за естественной конвекции, а в процессе работы шлам покрывает теплообменную поверхность еще больше ухудшая характеристики аппарата.

Совершенствованием теплообменного оборудования постоянно занимаются специалисты как в нашей стране, так и за рубежом. На данном этапе достигнуты высокие теплотехнические показатели, но с развитием технологий они уже не отвечают требованиям сегодняшнего дня в части повышения коэффициентов теплопередачи, уменьшения зашламливания теплопередающих поверхностей и снижения металлоемкости конструкций. [4].

На сегодняшний день существует множество способов в части повышения коэффициентов теплопередачи, уменьшения зашламливания теплопередающих поверхностей и снижения металлоемкости конструкций некоторые из которых будут рассмотрены ниже.

1.2.1 Емкостной теплообменник содержащий завихрители внутри греющего контура

Задачей представленного изобретения является повышение эффективности работы теплообменника при длительной эксплуатации за счет уменьшения образования отложений взвешенных веществ на внутренних стенках трубы.

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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.

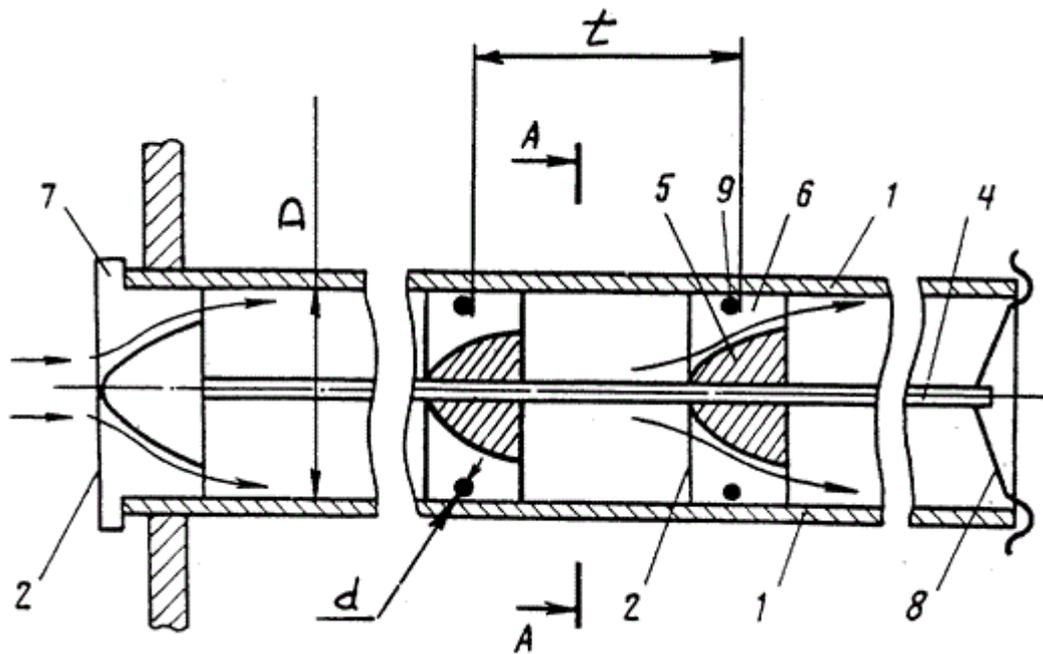


Рисунок 1.1 – Емкостной теплообменник содержащий завихрители внутри греющего контура

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 проволочных 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

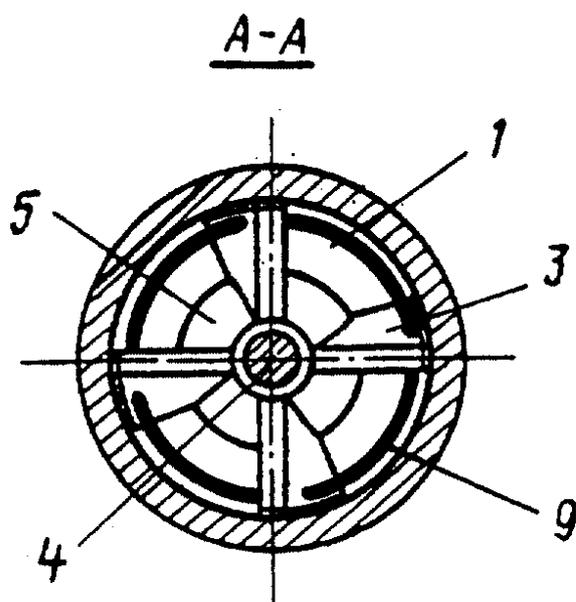


Рисунок 1.2 – Поперечный разрез емкостного теплообменника содержащий завихрители внутри греющего контура

Теплообменник работает следующим образом.

Теплоноситель, движущийся в трубе 1, проходит через суживающиеся каналы 6 завихрителей 2, равномерно установленных с шагом t по длине трубы, определяемым из соотношения $t = (5 - 7)D$, и формируется с помощью наклонных лопастей 3 и обтекателей 5 в закрученный и направленный под углом к стенке трубы 1 скоростной поток. Дискретные турбулизаторы 9 в виде проволочных стержней, установленных на оконечностях наклонных лопастей и плотно примыкающих к внутренней стенке трубы, дополнительно турбулизуют скоростной поток в пристеночном слое, тем самым предотвращая отложение взвешенных веществ на стенках трубы. Таким образом повышается эффективность работы теплообменников при длительной эксплуатации за счет уменьшения отложений взвешенных веществ на внутренних стенках трубы при работе на загрязненных средах.

Предлагаемая конструкция обеспечит надежную работу теплообменников длительное время без специальных мероприятий по очистке внутренних поверхностей труб от отложений взвешенных веществ, присутствующих

										Лист
										11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	МД-02069964-13.04.01-06-18					

в промышленных и хозяйственных стоках. Кроме того, возможно использование тепловых насосов при утилизации низкопотенциального тепла, что обеспечит экономию топливно-энергетических ресурсов. [11]

1.2.2 Емкостной теплообменник с генератором механических колебаний

Очистка теплопередающих поверхностей спиральных теплообменников представляет особую трудность, в то время как в общей парке теплообменной аппаратуры их доля возрастает.

Задачей предлагаемого изобретения является очистка теплопередающих поверхностей без остановки работы теплообменника.

Для решения поставленной задачи корпус спирального теплообменника, содержащий теплопередающие поверхности, входные и отводящие патрубки, соединенные с трубопроводом, снабжен генератором механических колебаний и установлен на полупружиненные опоры, а входные и отводящие патрубки подсоединены к трубопроводу посредством гибких гофрированных шлангов.

Генератор механических колебаний передает упругие колебания всей конструкции теплообменника. За счет разности инерционных масс металла теплообменника и находящейся в ней жидкости (воды) на границе раздела сред металл - отложения возникает сдвигающий момент, благодаря которому отложения отделяются от поверхности нагрева. Количество колебаний генератора определяют экспериментально при вхождении системы в резонанс.

Подпружиненные опоры, на которых установлен теплообменник, и гибкие гофрированные шланги, посредством которых входные и отводящие патрубки подсоединены к трубопроводу, обеспечивают равномерное рас-

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

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

На рисунке 1.3 изображена схема спирального теплообменника.

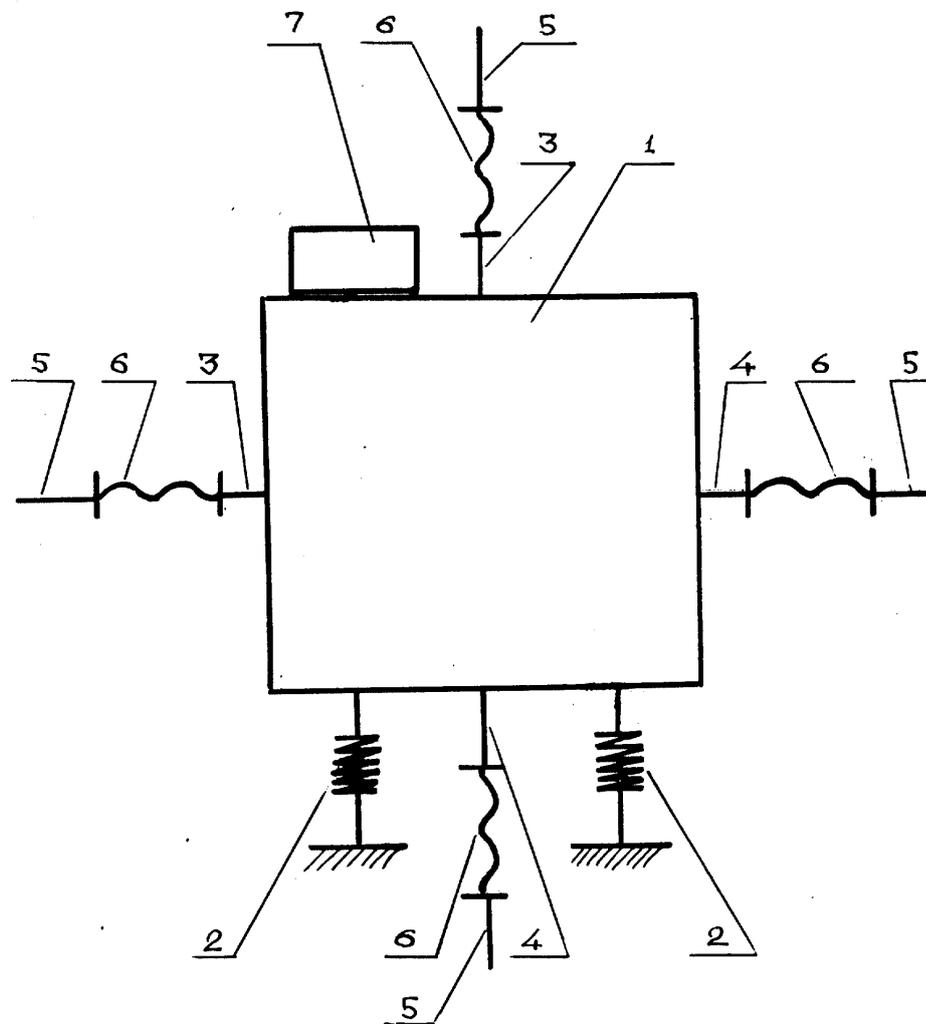


Рисунок 1.3 - Емкостной теплообменник с генератором механических колебаний

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

Устройство работает следующим образом. Генератор механических колебаний 7, установленный сверху на корпусе 1, включают в работу при работающем теплообменнике. Регулируя частоту вибрации генератора 7, наблюдают за амплитудой колебания корпуса 1 спирального теплообменника. При достижении эффективного встряхивания корпуса 1 теплообменника систему оставляют в данном режиме на 5 - 10 минут. После этого генератор выключают, теплообменник отключают от коммуникаций и снимают с него верхнюю крышку для определения очистки. При необходимости время может быть скорректировано и в последующем разборку теплообменника производить не требуется.

Основным отличием предлагаемого теплообменника является то, что очистку его теплопередающих поверхностей проводят без разборки и остановки технологического процесса. Вследствие простоты очистку спиральных теплообменников можно проводить через небольшие промежутки времени, что даст возможность не загрязнять теплопередающие поверхности и эксплуатировать его в нормальном режиме с оптимальным коэффициентом теплопередачи. [12]

1.2.3 Использование магниевого анода в емкостном теплообменнике

Изобретение относится к способам и устройствам защиты и очистки от первичной накипи ферромагнитных поверхностей теплообмена, контактирующих с водой, и его целесообразно использовать для защиты и очистки от первичной накипи поверхностей теплообмена оболочек трубчатых водонагревателей, труб котлов и теплообменников различного назначения.

Под поверхностью нагрева согласно ГОСТ 23172-78 «Котлы стационарные. Термины и определения» подразумевается элемент стационарного котла для передачи теплоты к рабочей среде. В газотрубном котле продукты

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

Необходимость разработки простых способов борьбы с первичной накипью обусловлена тем, что сегодня в России большинство котлов малой и средней мощности различного назначения практически не оснащено системами водоподготовки из-за относительно высокой их сложности и стоимости. Поэтому срок службы таких котлов не превышает 5-6 лет. Дальнейшее их применение нецелесообразно по экономическим причинам, т.к. КПД снижается до 40-50%. Для ТЭНов (имеющих малые поверхности теплообмена) такая задача практически вообще не ставилась или решалась в лучшем случае на уровне магниевых анодов

Основным недостатком данных способов и устройств защиты и очистки от первичной накипи поверхностей теплообмена водонагревателей, котлов и теплообменников является нестабильность результатов при изменении химического состава питательной воды, что является основным тормозом для их широкого практического применения.

Целью предлагаемого изобретения является создание простого и эффективного способа защиты и очистки от первичной накипи поверхностей теплообмена теплоэнергетических устройств (водонагревателей, котлов, теплообменников и т.д.), реализуемого простыми электротехническими устройствами.

Поставленная цель достигается тем, что в способе защиты и очистки от первичной накипи поверхностей теплообмена ферромагнитных труб водонагревателей, котлов и теплообменников, заключающемся в воздействии магнитными полями внешних генераторов на нагреваемую воду и указанные трубы, воздействие на нагреваемую воду осуществляют собственными магнитными полями указанных ферромагнитных труб непосредственно в зоне ее нагрева и одновременно с нагревом. Для этого защищаемые трубы включают в замкнутую магнитную цепь с указанными генераторами магнитных полей. При этом магнитные поля, воздействующие на трубы и воду, могут иметь постоянную, или однополярную пульсирующую, или переменную напряженность. В рассматриваемом случае параметры собственного магнитно-

						МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			16

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

ном ее объеме, а только в ее части, попадающей в зону нагрева. Параметры собственных магнитных полей ферромагнитных материалов труб водонагревателей, котлов и теплообменников, обусловленных существованием у атомов магнитных моментов, могут в тысячи раз превышать параметры внешних намагничивающих магнитных полей, создаваемых генераторами. В конечном итоге это приводит к стабильным результатам защиты от накипи указанных труб.

При этом внешнее магнитное поле может иметь постоянную, или однополярную пульсирующую, или переменную напряженность. Собственные магнитные поля ферромагнитных труб водонагревателей котлов и теплообменников формируются за счет включения их в замкнутую магнитную систему с постоянными магнитами или электромагнитами, питающимися постоянным, однополярным пульсирующим (выпрямленным) или переменным напряжением. Эти формы напряжений целесообразно применять из-за простоты их получения от промышленной сети переменного тока, хотя можно применять источники питания и с другими формами выходных напряжений.

Возможность применения широкого спектра внешних намагничивающих магнитных полей, получаемых относительно простыми техническими средствами, позволит успешно применять указанный способ для защиты и очистки от первичной накипи малых и больших по площади поверхностей теплообмена. В отличие от прототипа основным фактором, влияющим на защиту и очистку поверхностей теплообмена от первичной накипи, в данном изобретении является воздействие на воду в зоне нагрева собственными магнитными полями защищаемых ферромагнитных труб водонагревателей, котлов и теплообменников. При технической реализации использование в формировании внешних намагничивающих магнитных полей однополярного пульсирующего или переменного тока позволяет дополнительно обеспечить достаточно сильный эффект магнитострикции указанных труб, что приводит к дополнительному защитному эффекту от первичной накипи.

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

Для осуществления рассматриваемого способа разработаны простые и компактные устройства, которые могут успешно применяться для защиты и очистки от первичной накипи поверхностей теплообмена труб водонагревателей, котлов и теплообменников различного назначения.

Далее изобретения поясняются чертежами, на которых представлено:

На рисунке 1.4 формы напряженностей внешних магнитных полей, используемых для намагничивания ферромагнитных оболочек трубчатых водонагревателей труб котлов и теплообменников, поверхности теплообмена которых находятся в контакте с водой; на рисунке 1.5 приведен пример реализации устройства защиты поверхностей теплообменника от первичной накипи.

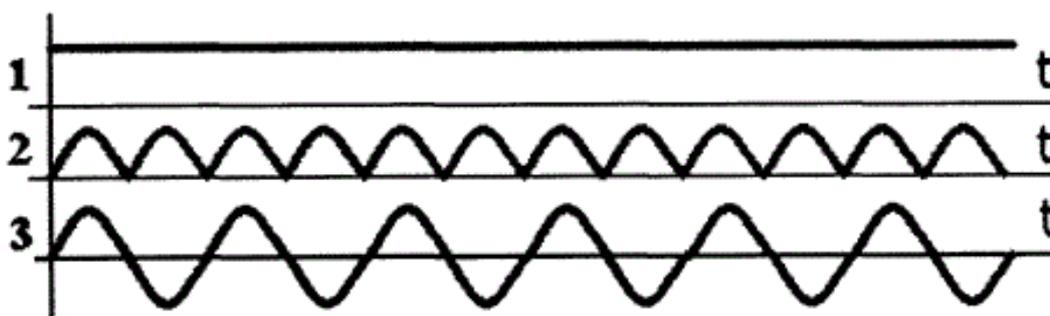


Рисунок 1.4 - Формы напряженностей внешних магнитных полей

Как показано на Рисунке 1.4, для реализации указанного способа защиты и очистки от первичной накипи могут использоваться различные формы напряженностей намагничивающих магнитных полей, создаваемых постоянными магнитами или электромагнитами постоянного, однополярного пульсирующего (выпрямленного) или переменного тока.

Возможный механизм защиты от первичной накипи поверхностей теплообмена может протекать следующим образом. Поскольку граница раздела двух сред (поверхность теплообмена - вода) находится в собственных магнитных полях, создаваемых ферромагнитными оболочками трубчатых водонагревателей, ферромагнитными трубами котлов и теплообменников, то вы-

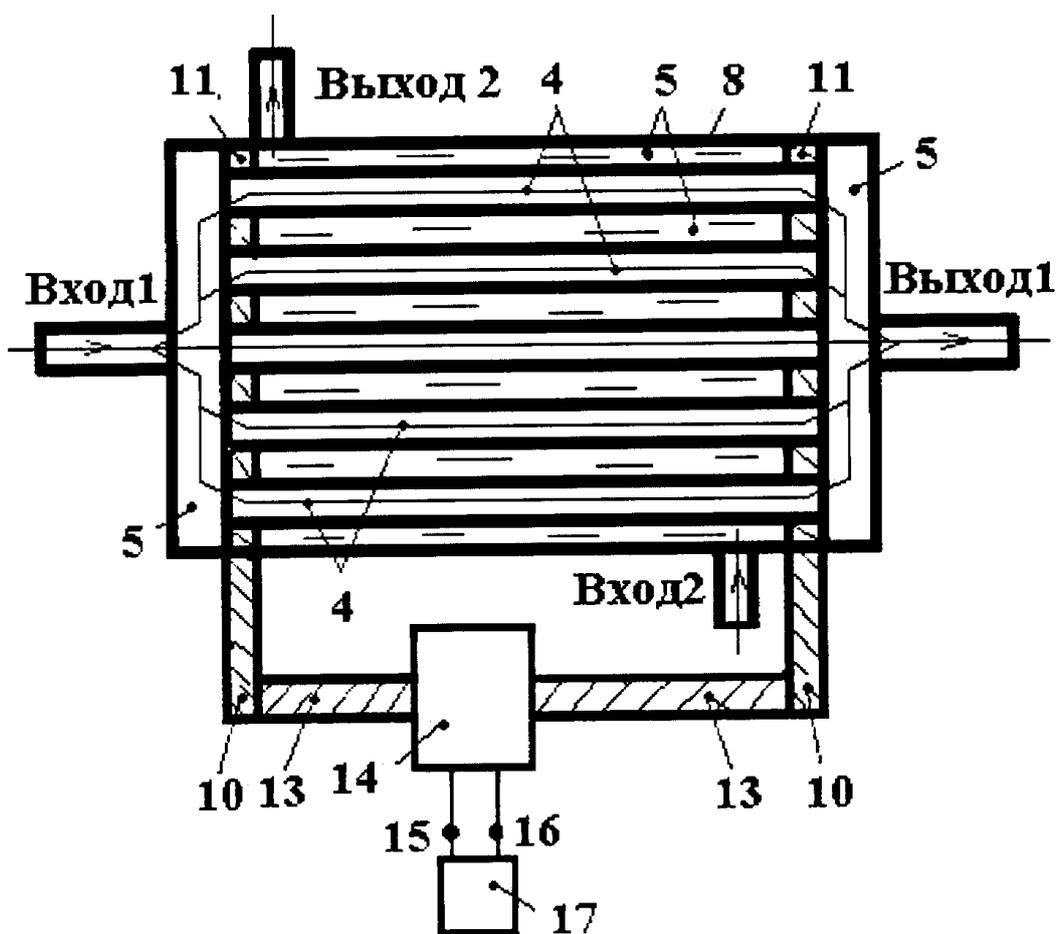


Рисунок 1.5 - Пример выполнения устройства для теплообменника

Работу устройства, реализующего способ защиты и очистки от первичной накипи поверхностей теплообмена, можно показать на примере рисунок. 1.5. Поскольку постоянные магниты 9, имеющие постоянную во времени напряженность магнитного поля 1, закреплены в непосредственном контакте с ферромагнитной трубой 4, поверхность которой находится в контакте с нагреваемой водой 5, то указанная труба 4 намагничивается за счет протекания магнитного потока по замкнутой магнитной цепи (9-10-4-9) и создает собственное магнитное поле, воздействующее на воду 5 в области нагрева. В этом варианте устройства можно использовать один постоянный магнит 9, закрепленный на одном из концов трубы 4. Для магнитной обработки воды по сравнению с прототипом созданы практически идеальные условия: наличие магнитного поля с достаточной напряженностью; предельная

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

температура воды; увеличенное в сотни раз время воздействия на воду магнитного поля; сниженный практически до нуля промежуток времени между обработкой воды магнитным полем и ее нагревом. Эти условия обеспечивают кристаллизацию солей из воды в нагреваемом объеме в виде подвижного мелкодисперсного шлама. Создание таких условий приводит дополнительно к постепенному растворению старой первичной накипи. Если постоянные магниты 9 заменить на электромагниты и подключить обмотки электромагнитов к источнику питания с однополярным пульсирующим или переменным выходным напряжением, тогда дополнительно к намагничиванию воды 5, находящейся в зоне нагрева, добавляется достаточно сильный эффект продольной магнитострикции ферромагнитных труб 4, приводящий к дополнительному эффекту защиты от первичной накипи.

Таким образом, предлагаемые способ и устройство защиты и очистки от первичной накипи ферромагнитных поверхностей теплообмена водонагревателей, котлов и теплообменников выгодно отличаются от известных тем, что достигается достаточно сильное намагничивание воды в зоне нагрева и во время ее нагрева за счет собственных магнитных полей труб, увеличено в сотни раз время обработки воды магнитными полями при максимальной температуре и до предела уменьшено время между обработкой воды магнитным полем и ее нагревом, чем обеспечивается максимальный эффект по защите и очистке поверхностей теплообмена от первичной накипи рассматриваемого теплотехнического оборудования. Формирование внешних намагничивающих магнитных полей с однополярной пульсирующей или переменной напряженностью дополнительно создает эффект магнитострикционных колебаний в поверхностях теплообмена, еще более увеличивающий эффект данного изобретения. Проведенные испытания показали, что за 10 суток работы в условиях водопроводной воды с жесткостью 3 г-экв., с сухим остатком 620 мг/л, на ТЭНах без защиты образовалась накипь толщиной 1.2 мм, а на ТЭНах, в конструкции которых были использованы постоянные магниты с образованием магнитного контура, в который была включена

											МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата								22

трубка оболочки ТЭНа, накипи на поверхности оболочки ТЭНа не образовалось вообще. [14]

1.2.4 Емкостной теплообменник содержащий периодические кольцевые выступы на внутренней поверхности теплообменного элемента

Задачей изобретения является создание способа интенсификации теплообмена при уменьшении поверхности теплообмена и сохранении тепловой производительности, при снижении мощности прокачки расходов теплоносителей.

Решение указанной задачи достигается тем, что в предложенном способе повышения эффективности теплообменного элемента, заключающемся в интенсификации теплообмена путем выполнения периодических кольцевых выступов на внутренней поверхности теплообменного элемента, согласно изобретению, теплообменный элемент выполняют в виде спиралевидной гибкой трубы с периодически расположенными на ее внутренней поверхности турбулизаторами, предпочтительно, в виде кольцевых выступов, при этом радиус R спирали выполняют в пределах $0,05 < D/R < 0,25$, где D - внутренний диаметр трубы, R - радиус спирали, внутренний диаметр d выступов - в пределах $0,85 \leq d/D \leq 0,98$, а шаг t между ними - в пределах $0,45 \leq t/D \leq 0,6$.

Нижнее значение указанного соотношения $0,05 \leq D/R \leq 0,25$ выбрано исходя из того, что при дальнейшем его уменьшении не происходит интенсификация теплообмена.

Верхнее значение указанного соотношения $0,05 \leq D/R \leq 0,25$ выбрано исходя из того, что при дальнейшем его увеличении происходит загромождение гидравлического тракта теплообменного элемента, что ведет к росту его гидравлического сопротивления.

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

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.

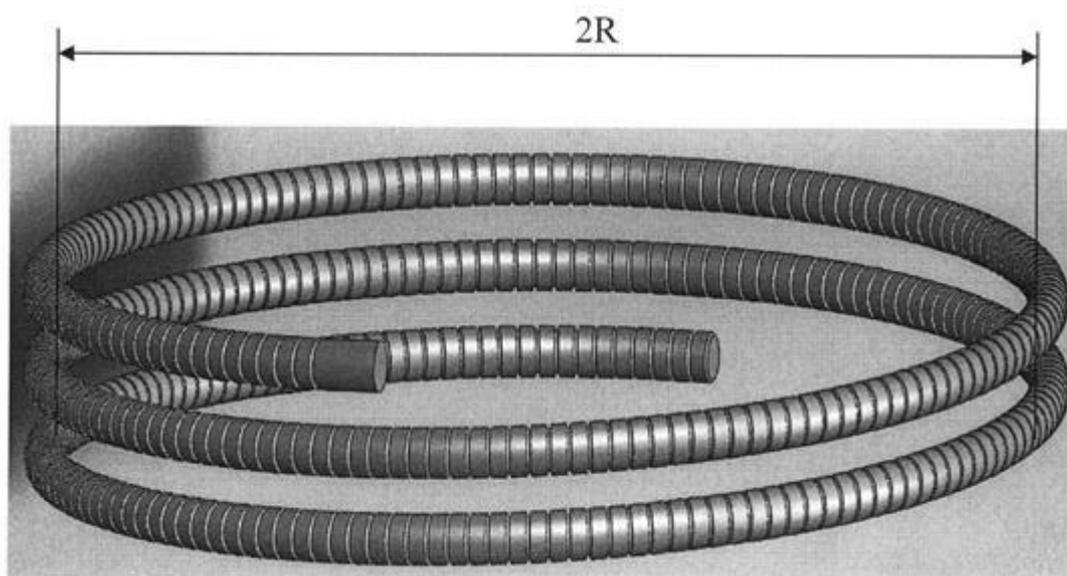


Рисунок 1.6 - Общий вид теплообменного элемента

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД-02069964-13.04.01-06-18

Лист

24

Предложенный способ может быть реализован при использовании теплообменного элемента следующей конструкции.

На внутренней поверхности трубы 1 выполняют турбулизаторы 2 в виде спиральных выступов с учетом следующих соотношений: радиус R спирали составляет $0,05 \leq D/R \leq 0,25$, где D - внутренний диаметр трубы, R - радиус спирали, при этом внутренний диаметр d выступов составляет $0,85 \leq d/D \leq 0,98$, а шаг t между ними - $0,45 \leq t/D \leq 0,6$.

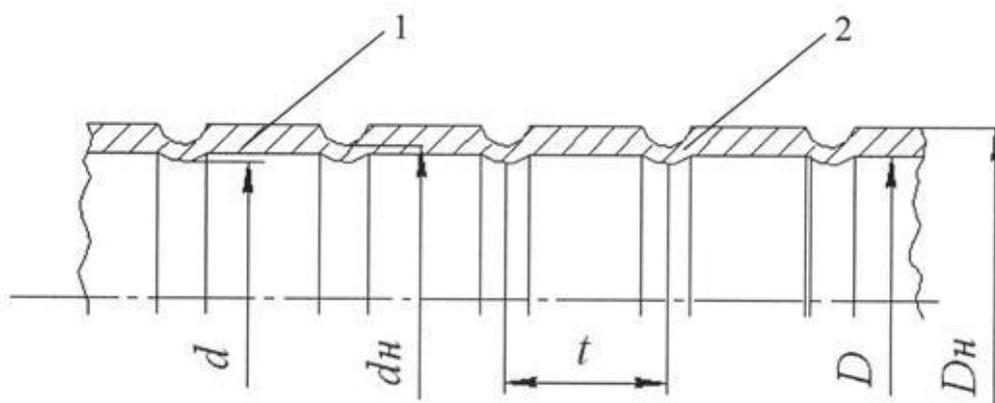


Рисунок 1.7 - Продольное сечение теплообменного элемента с указанием размеров

Предложенный способ может быть реализован при использовании указанного теплообменного элемента следующим образом.

Теплоноситель подают во входную часть трубы 1 и направляют к выходной части. Наличие турбулизаторов 2 на внутренней поверхности трубы 1 приводит к возникновению эффекта оребрения трубы 1 с низкими накатными однозаходными ребрами полукруглого сечения с их малым шагом, что тем самым увеличивает поверхность теплообмена.

Выполнение турбулизаторов 2 на внутренней поверхности теплообменного элемента позволяет существенно интенсифицировать теплообмен за счет закрутки потока витыми элементами элемента и отрывных течений на выступах, выполненных в виде части окружности.

При течении жидкостей в проточной части предлагаемых элементов существенно интенсифицируется процесс разрушения пристенного ламинарного подслоя, происходит образование вихревой структуры у входной кромки элемента, незатухающей вдоль всей проточной части теплообменного элемента, что способствует увеличению теплогидродинамической эффективности предлагаемого теплообменного элемента, при этом за счет выполнения конструктивных элементов в указанных пределах практически не изменяется гидравлическое сопротивление тракта теплообменного элемента.

Проведенные автором и заявителем испытания предложенного способа подтвердили правильность заложенных конструкторско-технологических решений и предложенных критериев. [13]

1.2.5 Емкостной теплообменник с гидромеханическим преобразователем

В данном варианте решении проблем большинства емкостных теплообменников является повышение коэффициента теплопередачи в теплообменнике между греющей и нагреваемой средой, снижение металлоемкости конструкции, реализации эффекта самоочистения теплопередающей поверхности.

Технический результат достигается тем, что теплообменник (рисунок 1.8) содержит кожух с подводящим и отводящим патрубками у греющего и нагреваемого контура, внутри которого расположена трубчатая система, содержащая змеевик, жестко установленный на гидромеханическом преобразователе, имеющем боковой отвод, соединенный с нижним фланцем и с отводящим патрубком греющего контура с помощью трубы или шланга. Концы змеевика посредством шлангов соединены с подводящим и отводящим патрубками греющего контура. Гидромеханический преобразователь

							МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				26

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.

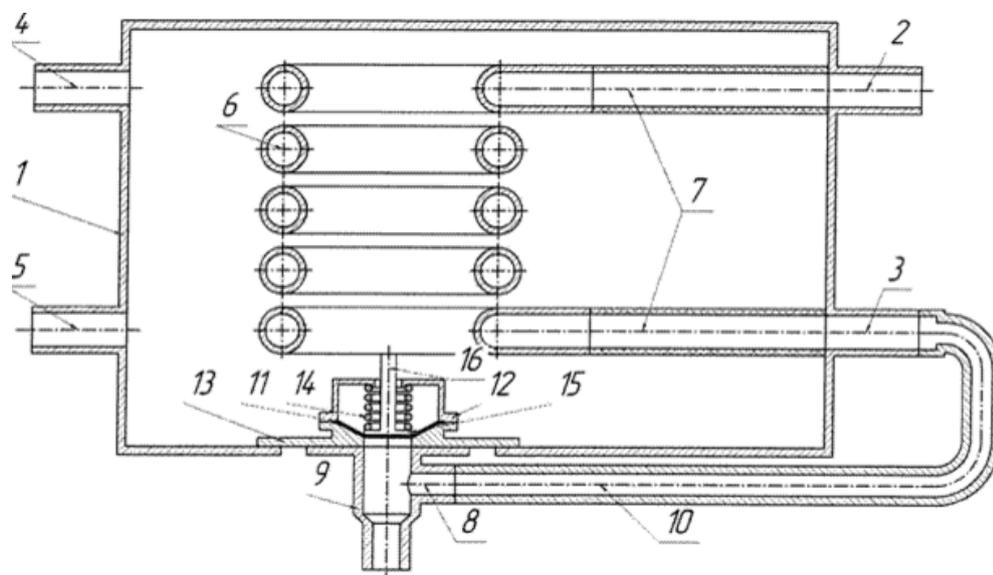


Рисунок 1.8 - Емкостной теплообменник с гидромеханическим преобразователем

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

единенному со штоком 16. Гидромеханический преобразователь сильфонного типа включает сильфон 17, жестко соединенный с верхним фланцем 18.

Теплообменник работает следующим образом. Предполагается работа теплообменника в комплексе с импульсной системой теплоснабжения, благодаря которой создается импульсный режим течения в греющем контуре и пульсирующий режим в нагреваемом контуре. При этом происходит очищение теплопередающей поверхности и увеличение коэффициента теплопередачи. Ударный узел импульсной системы теплоснабжения генерирует гидравлический удар в греющем контуре. В теплообменнике с гидромеханическим преобразователем мембранного типа поток теплоносителя выходит из отводящего патрубка 3 греющего контура, проходит через трубу или шланг 10, боковой отвод 8 и нижний фланец 9 гидромеханического преобразователя к ударному узлу. При закрытии клапана ударного узла возникает отраженная ударная волна, часть кинетической энергии которой преобразовывается в потенциальную энергию змеевика 6. Мембрана 11 прогибается, установленный на ней диск 15 перемещается вместе с жестко соединенным с ним штоком 16, на котором жестко установлен змеевик 6. Возвратная пружина 14 перемещает мембрану 11 со штоком 16 и змеевик 6 в первоначальное положение. В теплообменнике с гидромеханическим преобразователем сильфонного типа поток теплоносителя выходит из отводящего патрубка 3 греющего контура, проходит через трубу или шланг 10. В теплообменнике с гидромеханическим преобразователем сильфонного типа поток теплоносителя выходит из отводящего патрубка 3 греющего контура, проходит через трубу или шланг 10, боковой отвод 8 и нижний фланец 9 гидромеханического преобразователя к ударному узлу. При закрытии клапана ударного узла возникает отраженная ударная волна, часть кинетической энергии которой преобразовывается в потенциальную энергию змеевика 6. Сильфон 17 растягивается и перемещает жестко связанный с ним змеевик 6, а затем под действием силы упругости сильфон 17 принимает первоначальную форму и перемещает змеевик 6 в исходное положение. За счет разности инерционных

										Лист
										28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

МД-02069964-13.04.01-06-18

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 самоочистки 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

2 Теоритические сведения

Моделирование – это исследование какого-либо объекта или системы объектов путем построения и изучения их моделей. Это использование моделей для определения или уточнения характеристик и рационализации способов построения вновь конструируемых объектов.

На идее моделирования базируется любой метод научного исследования. При этом, в теоретических методах используются различного рода знаковые, абстрактные модели, в экспериментальных – предметные модели.

При исследовании сложное реальное явление заменяется некоторой упрощенной копией или схемой, иногда такая копия служит лишь только для того чтобы запомнить при следующей встрече узнать нужное явление. Иногда построенная схема отражает какие-то существенные черты, позволяет разобраться в механизме явления, дает возможность предсказать его изменение. Одному и тому же явлению могут соответствовать разные модели. Задача исследования – предсказать характер явления или ход процесса [16].

В данном разделе магистерской диссертации необходимо выявить оптимальную зону частот колебаний конусного змеевика в гидроаккумуляторе с импульсным подогревом горячей воды а так же провести расчет основных парметров водяного гидроаккумулятора.

Для нахождения оптимальной зоны частот колебаний конусного змеевика в гидроаккумуляторе с импульсным подогревом горячей воды, целесообразно приметить метод основанный на решении частотных дифференциальных уравнений, при составлении которых удобно применить энергетическую цепь. Подробная разработка математической модели гидроаккумулятора с импульсным подогревом горячей воды, а так же расчет основных парметров водяного гидроаккумулятора представленные в последующих подпунктах.

2.1 Разработка математической модели гидроаккумулятора с импульсным подогревом горячей воды

Моделирование колебаний в контуре косвенного нагрева теплообменника целесообразно на основе частотного решения дифференциальных уравнений, при составлении которых удобно применить энергетическую цепь. [6] Энергетическая цепь составляется на основе математической модели, которая включает водогрейный котел, циркуляционный насос, конусный змеевик.

Энергетическая цепь состоящая из математической модели гидроаккумулятора с импульсным подогревом горячей воды включает три звена: первое звено – преобразовательное, преобразует крутящий момент μ и угловую скорость ω в движение p и объемный расход v на выходе насоса; второе звено - гидравлическое, учитывает потери на трение с помощью активного сопротивления r_1 и податливостью трубопровода l_1 ; третье звено – гидравлическое, отражающее массу воды в теплообменнике (змеевике) M_1 , его податливость l_2 и активное сопротивление r_2 (рисунок 2.1)

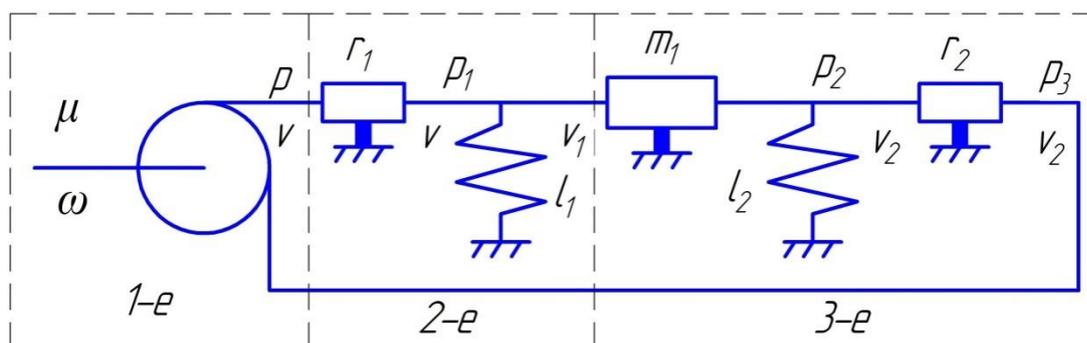


Рисунок 2.1 - Энергетическая цепь греющего контура теплообменника косвенного нагрева горячей воды

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Уравнение звеньев цепи для схемы (рисунок 2.1) запишется в виде:

1-го звена:

$$\begin{cases} p = k_1 * \mu \\ v = k_2 * \omega_1 \end{cases}$$

2-го звена:

$$\begin{cases} p = r_1 v^2 + p_1 \\ v = l_1 \dot{p}_1 + v_1 \end{cases} \quad (2.1)$$

3-го звена:

$$\begin{cases} p_1 = m \dot{v}_1 + r_2 v_2^2 + p_3 \\ v_1 = l_2 \dot{p}_1 + v_2 \end{cases}$$

где r_1, r_2 – соответственно активное сопротивление трубопровода и теплообменника, $\text{Па}/(\text{м}^3/\text{с})$;

m_1, m_2 – соответственно масса воды в трубопроводе и теплообменнике, кг ;

l_1, l_2 – соответственно податливости трубопровода гидроаккумулятора теплообменника, $\text{м}^3 \cdot \text{с}/\text{Па}$;

μ – крутящий момент на валу насоса, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

ω – круговая частота вращения вала насоса, $\text{рад}/\text{с}$

Представим выходные параметры p_3 и v_2 в виде постоянных составляющих и отклонений:

$$p_3 = p_{30} + \bar{p}_3 ,$$

$$v_2 = v_{20} + \bar{v}_2; v_2^2 = v_{20}^2 + 2v_{20}\bar{v}_2 ,$$

$$p_2 = r_2 v_2^2 + p_3 = r_2 v_{20}^2 + 2r_2 v_{20} \bar{v}_2 + p_{30} + \bar{p}_3 \quad (2.2)$$

Подставим полученное выражение (2.2) для P_3 в 3-ое звено:

$$v_1 = 2l_2r_2v_2\dot{\bar{v}}_2 + \dot{\bar{p}}_3 + v_{20} + \bar{v}_2,$$

$$p_1 = 2ml_2r_2v_{20}\ddot{\bar{v}}_2 + m\ddot{\bar{p}}_3 + m\ddot{\bar{v}}_2 + r_2r_{20}^2 + r_2v_{20}\bar{v}_2 + p_{30} + \bar{p}_3. \quad (2.3)$$

Из уравнения 1-ого звена:

$$v = 2l_1ml_2r_2v_{20}\ddot{\bar{v}}_2 + l_1m\ddot{\bar{p}}_3 + l_1m\ddot{\bar{v}}_2 + l_1r_2v_{20}\dot{\bar{v}}_2 + l_1\dot{\bar{p}}_3 + \\ + 2l_2r_2\dot{\bar{v}}_{20} + \dot{\bar{p}}_3 + v_{20} + \bar{v}_2, \quad (2.4)$$

$$v^2 = v_{20} + 4v_{20}^2l_1ml_2r_2\ddot{\bar{v}}_2 + 2l_1m\ddot{\bar{p}}_3v_{20} + 2l_1v_{20}m\ddot{\bar{v}}_2 + \\ + 2v_{20}l_1r_2v_{20}^2\dot{\bar{v}}_2 + 2v_{20}l_1\dot{\bar{p}}_3 + 4v_{20}^2l_2r_3\dot{\bar{v}}_2 + 2v_{20}\dot{\bar{p}}_3 + 2v_{20}^2 + 2v_{20}\bar{v}_2,$$

$$p = r_1v_{20}^2 + 4r_1v_{20}^2l_1ml_2r_2\ddot{\bar{v}}_2 + 2r_1v_{20}l_1m\ddot{\bar{p}}_3 + 2r_1l_1v_{20}m\ddot{\bar{v}}_2 + 2r_1v_{20}l_1r_2\dot{\bar{v}}_2 + \\ + 2r_1v_{20}l_1\dot{\bar{p}}_3 + 4r_1v_{20}^2l_2r_3\dot{\bar{v}}_2 + 2r_1v_{20}\dot{\bar{p}}_3 + 2r_1v_{20}^2 + 2r_1v_{20}\bar{v}_2 + 2mr_2l_2v_{20}\ddot{\bar{v}}_2 \\ + m\ddot{\bar{p}}_3 + m\ddot{\bar{v}}_2 + r_2v_{20}^2 + r_2v_{20}\bar{v}_2 + p_{30} + \bar{p}_3 = \\ = (2r_1v_{20}l_1m)\ddot{\bar{p}}_3 + (m)\ddot{\bar{p}}_3 + (2r_1v_{20} + 2r_1v_{20}l_1)\dot{\bar{p}}_3 + +1\bar{p}_3 + p_{30} + \\ + (4r_1v_{20}^2l_1ml_2r_2)\ddot{\bar{v}}_2 + (2mr_2l_2v_{20} + 2r_1l_1v_{20}m)\ddot{\bar{v}}_2 + \\ + (2r_1v_{20}l_1r_2 + 4r_1v_{20}^2l_2r_3 + m)\dot{\bar{v}}_2 + (r_2v_{20} + 2r_1v_{20})\bar{v}_2 + \\ + (r_2v_{20}^2 + r_1v_{20}^2 + 2r_1v_{20}), \quad (2.5)$$

Введя новые коэффициенты a_1, a_2 и т.д., получим новое уравнение в виде:

$$p = a_1\ddot{\bar{p}}_3 + a_2\ddot{\bar{p}}_3 + a_3\dot{\bar{p}}_3 + a_4\bar{p}_3 + a_5p_{30} + b_1\ddot{\bar{v}}_2 + b_2\ddot{\bar{v}}_2 + b_3\dot{\bar{v}}_2 + b_4\bar{v}_2 + b_5v_2.$$

Составим уравнение на изображение:

$$(a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s + a_4)P_3(s) = -(b_1s^3 + b_2s^2 + b_3s + b_4)V_2(s). \quad (2.6)$$

Комплексное сопротивление цепи:

$$Z(s) = \frac{P_3(s)}{V_3(s)} = -\frac{b_1s^3 + b_2s^2 + b_3s + b_4}{a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s + a_4}, \quad (2.7)$$

Преобразуем уравнение с учетом, того что $s=j\Omega$,

где j – мнимая единица;

Ω – круговая частота, рад/сек.

Уравнение примет следующий вид:

$$\begin{aligned} Z(j\Omega) &= -\frac{b_1\Omega^3j + b_2\Omega^2 + b_3\Omega j + b_4}{a_1\Omega^3j + a_2\Omega^2 + a_3\Omega j + a_4} = \\ &= \frac{-b_1\Omega^3j - b_2\Omega^2 - b_3\Omega j - b_4}{-a_1\Omega^3j - a_2\Omega^2 - a_3\Omega j - a_4} = \frac{-b_2\Omega^2 - b_4 - b_1\Omega^3j - b_3\Omega j}{-a_2\Omega^2 - a_4 - a_1\Omega^3j - a_3\Omega j}. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Умножим числитель и знаменатель на комплексно – сопряженное значение знаменателя:

$$\begin{aligned} Z(j\Omega) &= \frac{-b_2\Omega^2 - b_4 - b_1\Omega^3j - b_3\Omega j}{-a_2\Omega^2 - a_4 - a_1\Omega^3j - a_3\Omega j} = \\ &= \frac{(-b_2\Omega^2 - b_4 - b_1\Omega^3j - b_3\Omega j)(-a_2\Omega^2 - a_4 - a_1\Omega^3j - a_3\Omega j)}{a_2\Omega^4 + a_4^2 + a_1\Omega^6 + a_3\Omega^2} = \\ &= \frac{a_2b_2\Omega^4 + a_2b_4\Omega^2 + a_2b_1\Omega^5j + a_2b_3\Omega^3j + a_4b_2\Omega^2 + a_4b_4 + a_4b_1\Omega^3j + a_4b_3\Omega j + \\ &+ a_1b_2\Omega^5j + a_1b_4\Omega^3j - a_1b_1\Omega^6 - a_1b_3\Omega^2 + a_3b_2\Omega^3j + a_3b_4\Omega j - a_3b_1\Omega^4 - a_3b_3\Omega^2}{a_2\Omega^4 + a_4^2 + a_1\Omega^6 + a_3\Omega^2} = \\ &= \frac{a_2b_2\Omega^4 + a_2b_4\Omega^2 + a_4b_2\Omega^2 + a_4b_4 - a_1b_1\Omega^6 - a_1b_3\Omega^2 - a_3b_1\Omega^4 - a_3b_3\Omega^2}{a_2\Omega^4 + a_4^2 + a_1\Omega^6 + a_3\Omega^2} + \end{aligned}$$

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

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 MicrosoftExcel 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

Таблица 2.2 – Результаты полученных параметров

Ω	$a1$	$a2$	$a3$	$a4$	$a5$	$b1$	$b2$
6,283185	0,014715	2,6	0,006815	1	1	0,000108153	0,033825
12,56637	0,014715	2,6	0,006815	1	1	0,000108153	0,033825
18,84956	0,014715	2,6	0,006815	1	1	0,000108153	0,033825
25,13274	0,014715	2,6	0,006815	1	1	0,000108153	0,033825
31,41593	0,014715	2,6	0,006815	1	1	0,000108153	0,033825
37,69911	0,014715	2,6	0,006815	1	1	0,000108153	0,033825
43,9823	0,014715	2,6	0,006815	1	1	0,000108153	0,033825
50,26548	0,014715	2,6	0,006815	1	1	0,000108153	0,033825
56,54867	0,014715	2,6	0,006815	1	1	0,000108153	0,033825
62,83185	0,014715	2,6	0,006815	1	1	0,000108153	0,033825

Таблица 2.2 – Результаты полученных параметров (продолжение)

$b3$	$b4$	$b5$	U	V	$A(Z)$	$F(Z)$
2,60001	0,001768	0,008208	-12,09324	1676,815	1676,858	0,007212
2,60001	0,001768	0,008208	-31,86878	13414,44	13414,48	0,002376
2,60001	0,001768	0,008208	-45,25991	45273,69	45273,71	0,001
2,60001	0,001768	0,008208	-53,02015	107315,4	107315,4	0,000494
2,60001	0,001768	0,008208	-57,58161	209600,3	209600,3	0,000275
2,60001	0,001768	0,008208	-60,40193	362189,3	362189,3	0,000167
2,60001	0,001768	0,008208	-62,23912	575143,2	575143,2	0,000108
2,60001	0,001768	0,008208	-63,49215	858522,7	858522,7	7,4E-05
2,60001	0,001768	0,008208	-64,3806	1222389	1222389	5,27E-05
2,60001	0,001768	0,008208	-65,03142	1676802	1676802	3,88E-05

По полученным результатам построены графики амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и фазо-частотной характеристики (ФЧХ) цепи (рисунки 2.2 -2.3).

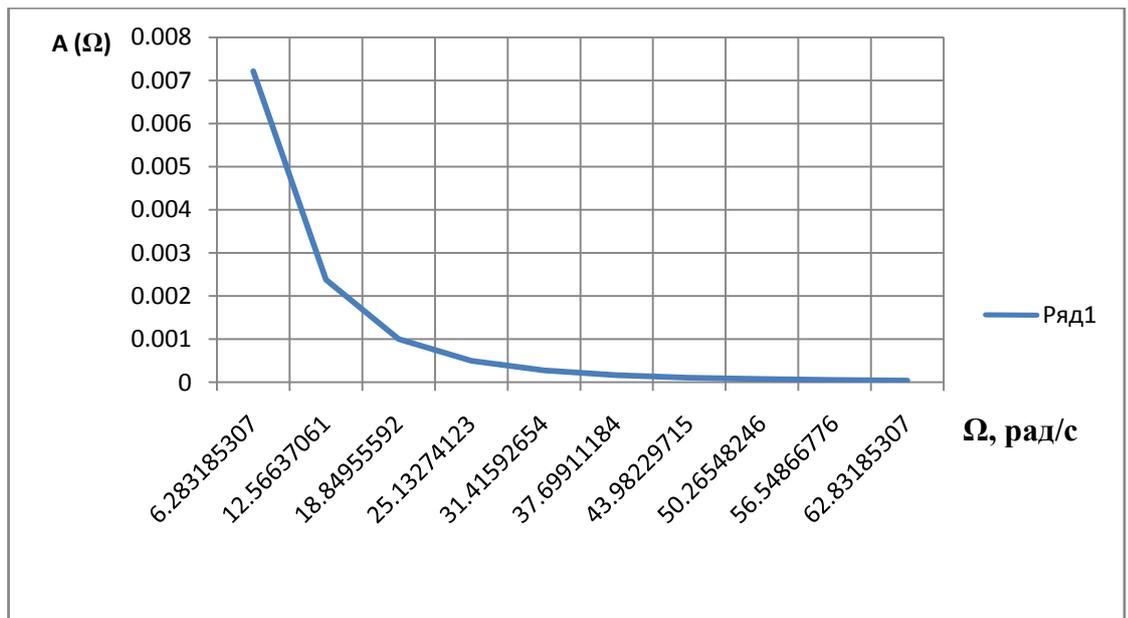


Рисунок 2.2 - Амплитудно-частотная характеристика

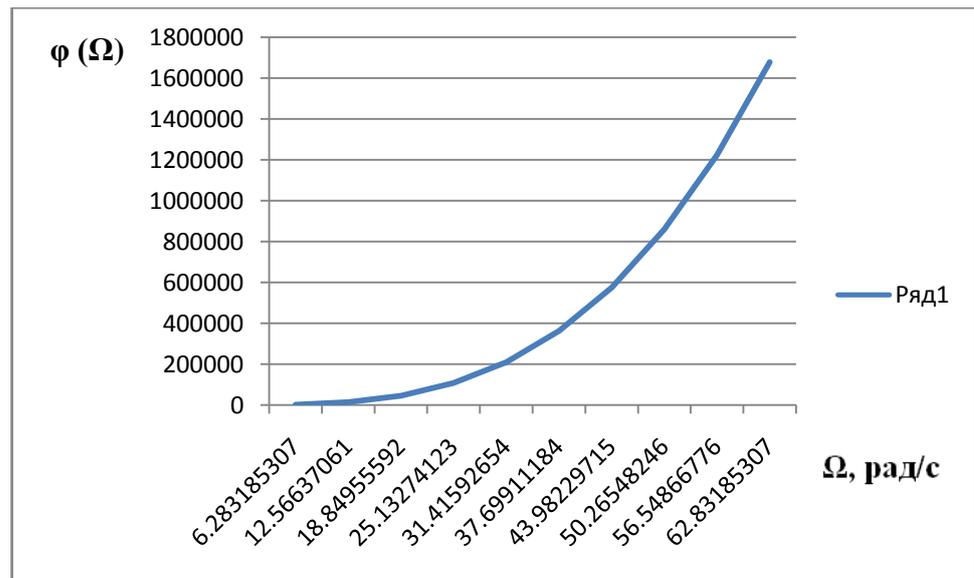


Рисунок 2.3 - Фазо-частотная характеристика

Из полученных графиков, видно, что при повышении частоты колебаний амплитуда приращения давления к приращению расхода снижается по логарифмической кривой. Наиболее оптимальной зоной частот является частоты от 3,14 до 6,28 рад/с. ($0,5 \pm 1$ Гц).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

2.2 Расчет водяного гидроаккумулятора

В данном разделе приведен расчет водяного гидроаккумулятора для нагрева 30 л воды с 8,5°C до 65°C. Расход греющей воды 0,13л/с, ее начальная температура 80°C. Греющая поверхность выполнена в виде змеевиков из латунных труб диаметром 13/16мм. Примерное время нагрева $\tau=40$ мин.

Дальнейший расчет выполним по методике представленной в сборнике примеров и задач по теплообменным процессам, аппаратам и установкам [1].

Удельная теплопроизводительность аппарата rF , Вт/К, найдем по формуле:

$$rF = G_1 \cdot C_1 \cdot \ln \frac{1}{\frac{M_2 \cdot C_2}{G_1 \cdot C_1 \cdot \tau} \cdot \ln \cdot \frac{t_1' - t_2''}{t_1' - t_2}}, \quad (2.14)$$

где G_1 – расход греющей воды, л/ч, $G_1 = 0,13$ л/с;

C_1 – удельная теплоемкость воды, $C_1 = 4,187$;

M_2 - объем подогреваемой воды, л, $M_2 = 30$ л;

τ – приблизительное время нагрева, с, $\tau = 2400$ с;

t_1' – температура греющей воды, °С, $t_1' = 80$ °С;

t_2' – начальная температура нагреваемой воды, °С, $t_2' = 8,5$ °С;

t_2'' – конечная температура нагреваемой воды, °С, $t_2'' = 65$ °С.

Подставив полученные значения в формулу (2.14), получим

$$F = 0,13 \cdot 4,187 \cdot \ln \frac{1}{\frac{30 \cdot 4,187}{0,13 \cdot 4,187 \cdot 2400} \cdot \ln \cdot \frac{80 - 8,5}{80 - 65}} = 1,06. \quad \text{Вт/К.}$$

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

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

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:

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

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

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} ,

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

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

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

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°С, $x = 0,6$;

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

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						

$$\alpha = 0,54 \frac{\lambda_2}{d_H} (Gr \cdot Pr)^{0,25} , \quad (2.23)$$

где λ_2 - теплопроводность воды, $\lambda_2 = 0,634$.

Подставив полученные значения в формулу (2.23), получим:

$$\alpha = 0,54 \frac{0,634}{0,016} (6,4 \cdot 10^{-6} \cdot 3,5)^{0,25} = 140 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}).$$

Коэффициент теплопередачи при толщине накипи 0,5 мм, Вт/(м²К), найдем по формуле:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_H}{\lambda_H} + \frac{1}{\alpha}} , \quad (2.24)$$

где $\delta_{ст}$ – толщина стенки трубки, м, $\delta_{ст} = 0,0015$ м;

δ_H – толщина накипи, м, $\delta_H = 0,0005$ м;

$\lambda_{ст}$ – теплопроводность трубки, Вт/м·град, $\lambda_{ст} = 100$ Вт/м·град;

λ_H – теплопроводность накипи, Вт/м·град, $\lambda_H = 2,5$ Вт/м·град.

Подставив полученные значения в формулу (2.24), получим:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{518} + \frac{0,0015}{100} + \frac{0,0005}{2,5} + \frac{1}{140}} = 107 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}).$$

Площадь поверхности теплообмена, м², найдем по формуле:

$$F = \frac{kF}{k} = \frac{1615}{107} = 0,151 \text{ м}^2. \quad (2.25)$$

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

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

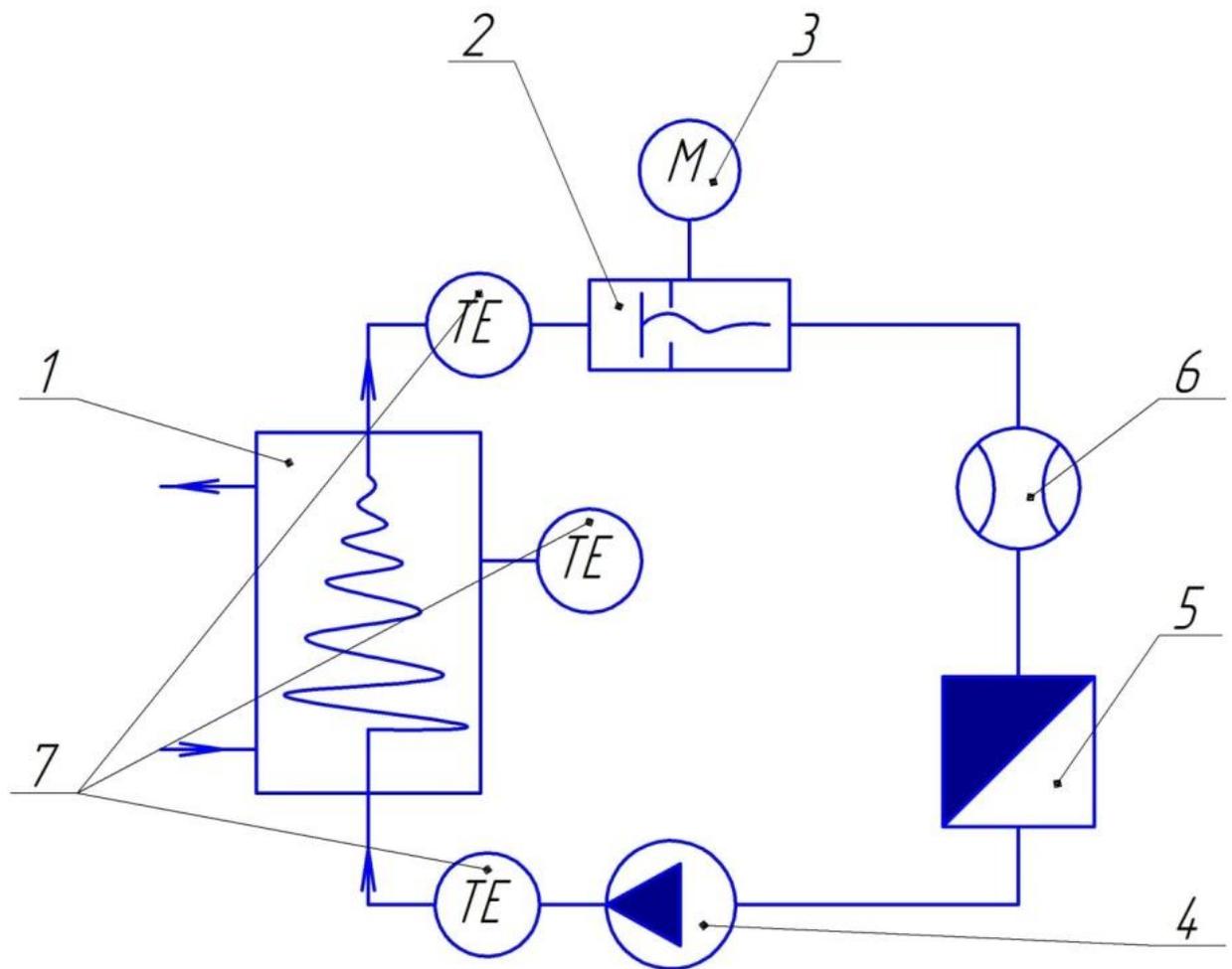


Рисунок 3.1 – Схема экспериментальной установки

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]

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



Рисунок 3.2 – Общий вид экспериментальной установки

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД-02069964-13.04.01-06-18

Лист

48

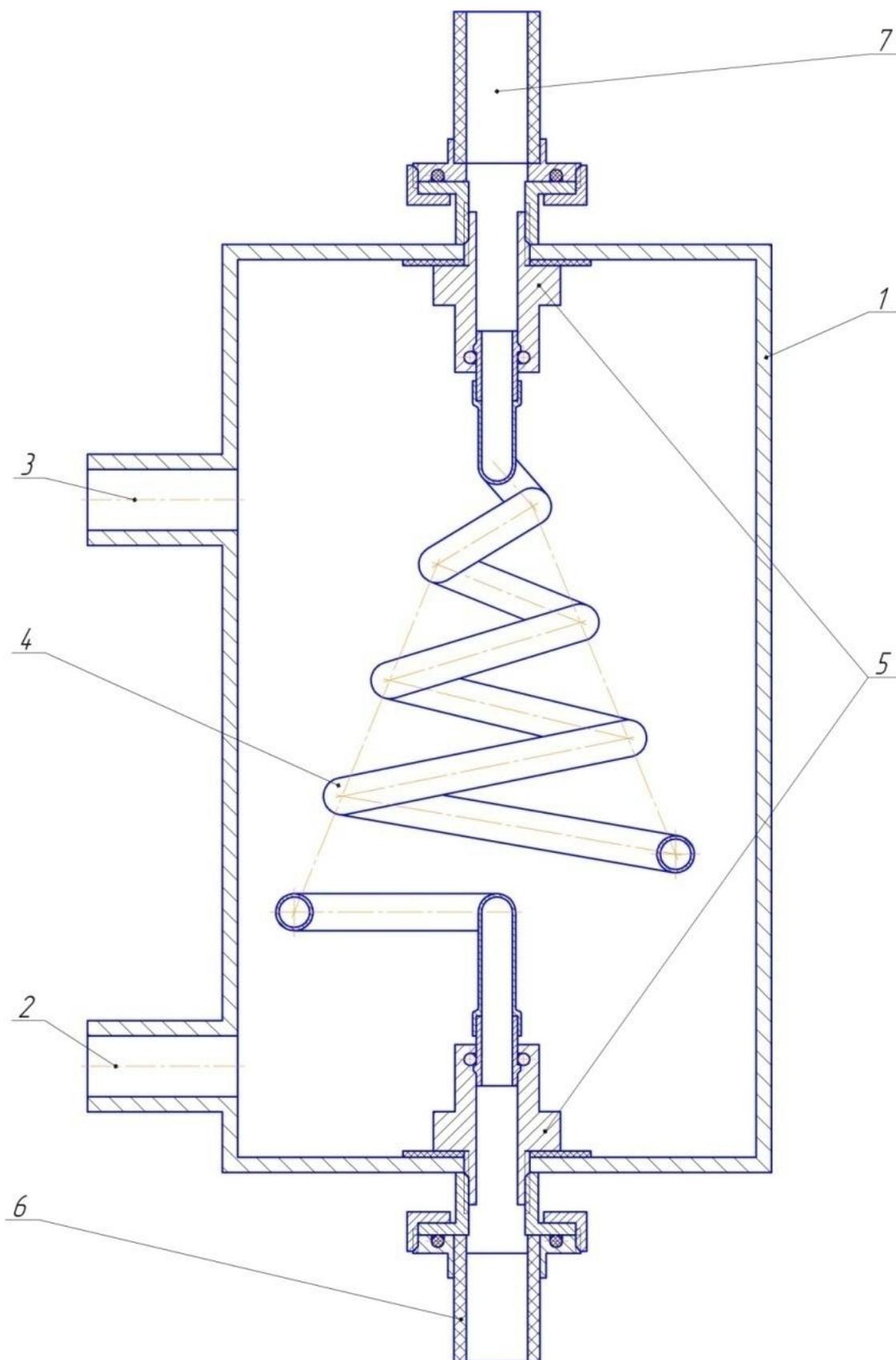


Рисунок 3.3 - Рекуперативный теплообменный аппарат

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД-02069964-13.04.01-06-18

Лист

49

Рекуперативный теплообменный аппарат работает следующим образом (рисунок 3.4). Перед началом работы в кожух емкостного теплообменника 1 через подводящий патрубок 2 заполняется подогреваемой жидкостью, через отводящий патрубок 3 будет сливаться нагретая до определенной температуры подогреваемая жидкость. Конусный змеевик 4 (рисунки 3.5-3.6), установленный в шарнирных опорах 5 (рисунок 3.7) в выходном патрубком 6, заполняется греющей жидкостью и находится неподвижно. При осуществлении пуска электропривода 7 валик 8 ударного узла (рисунок 3.8) с жестко закрепленным на нем кулачком 10 начнут поворачиваться в опорах 9. Кулачек 10 будет воздействовать на шток 11 с пружиной 12 и клапаном 13 и будет открывать клапан 13. Центрация штока 11 обеспечивается втулкой 14 со сквозными отверстиями для прохождения жидкости. При открытом клапане 13 поток греющей жидкости проходит через подводящий патрубок 15, в верхнюю шарнирную опору 5, конусный змеевик 4, нижнюю шарнирную опору 5, отводящий патрубок 6, ударный узел и далее в систему теплоснабжения. Дальнейший поворот кулачка 10 приведет к провалу штока 11 под действием пружины 12 и энергии потока, что вызовет резкое закрытие клапана 13. Резкое закрытие клапана 13 создаст гидроудар, волна которого приведет к многократному росту давления потока, горизонтальная проекция которого будет учувствовать в создании вращательного момента, под действием которого конусный змеевик 4 повернется на некоторый угол во круг своей оси. Периодическое открытие и закрытие клапана 13 под действием электропривода 7 с определенной частотой будет создавать пульсирующее вращение змеевика 4. С увеличением момента инерции конусного змеевика 4 и частоты его пульсации создадут условия для вращательного движения конусного змеевика 4, что способствует увеличению коэффициента теплопередачи и очищению его наружной и внутренней теплопередающей поверхности. Вращательное пульсирующее движение конусного змеевика 4 будет создаваться только в определенной полосе частот. С увеличением частоты вращения кулачка 10 под действием электропривода 7, приведет от колебаний конусного змеевика 4, к его вращению, что является более рациональным режимом работы, с точки зрения теплопередачи. [2]

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

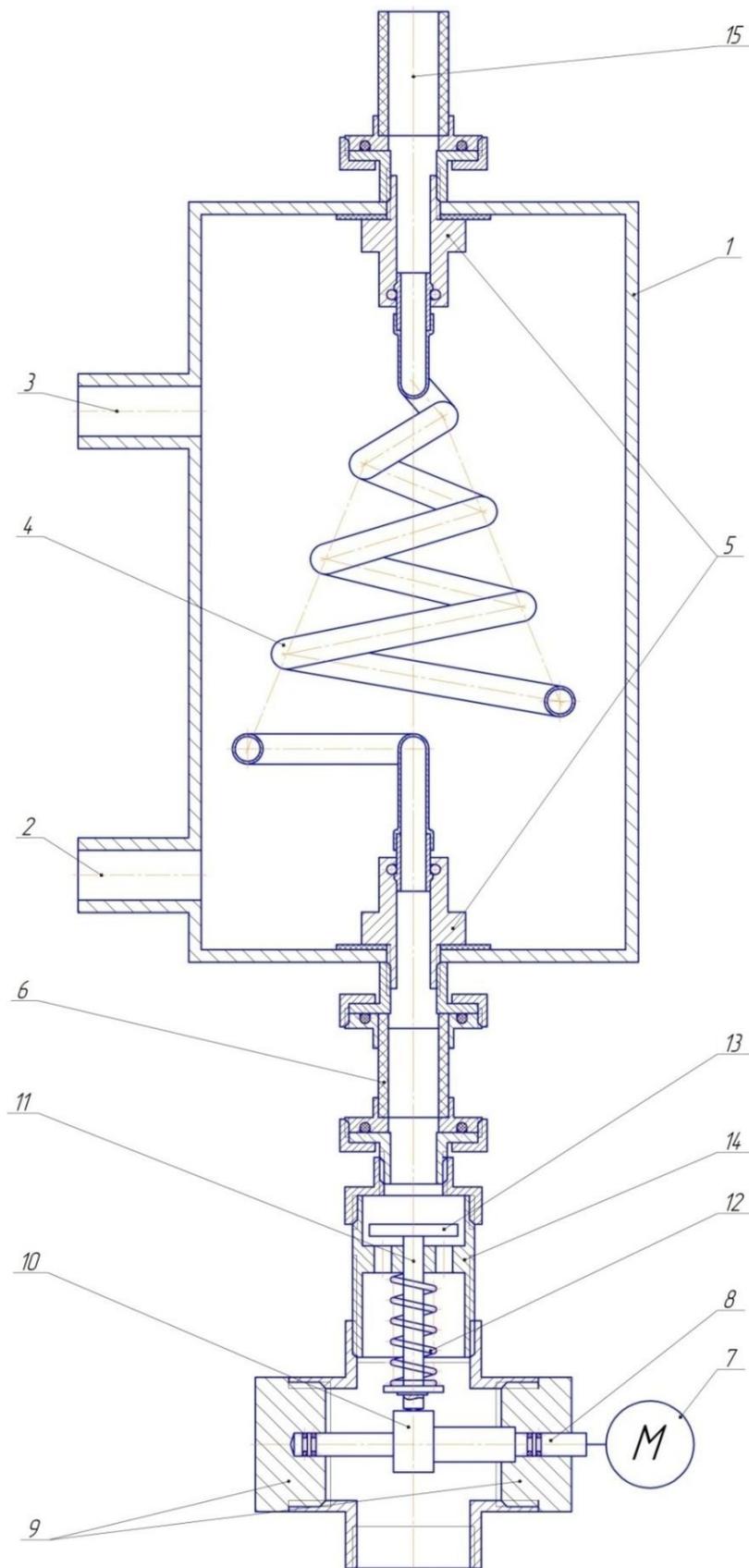


Рисунок 3.4 – Принцип работы рекуперативного теплообменника

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД-02069964-13.04.01-06-18

Лист

51



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

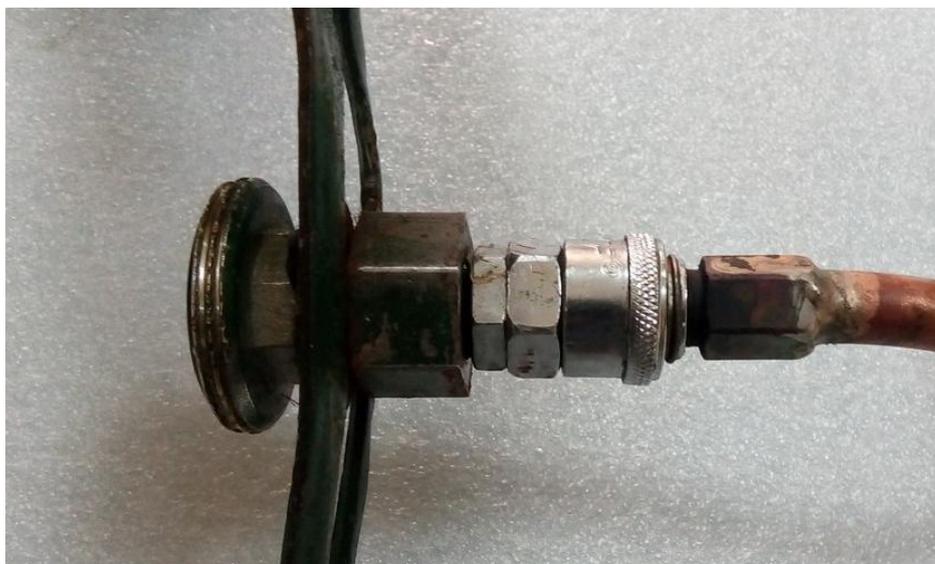


Рисунок 3.7 – Шарнирная опора.



Рисунок 3.8 – Ударный узел.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД-02069964-13.04.01-06-18

Лист

53

3.2. Выбор методов и средств измерения.

3.2.1 Согласующее устройство.

Согласующее устройство рисунок 3.9 является многофункциональным. Оно используется для согласования и ввода в ПК соответствующих сигналов от следующих датчиков в системе теплоснабжения:

- температура теплоносителя на входе в греющий контур;
- температура теплоносителя на выходе из греющего контура;
- температура теплоносителя внутри кожуха емкостного теплообменника

Согласующее устройство представляет собой совокупность следующих блоков:

- блоков питания на несколько выходных напряжений;
- четырехканальное устройство ввода информации (NI 6009) от первичного измерительного преобразователя температуры;



Рисунок 3.9 – Согласующее устройство

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.

Таблица 3.1 – Технические характеристики водомера «СГВ-15Д» бетар

Показатель	Значение
1	2
Диаметр условного прохода Ду, мм	15
Номинальный расход воды, м ³ /ч	1,5
Порог чувствительности, не более, м ³ /ч	0,015
Длина счетчика со штуцерами, L1, мм	172
Обозначение присоединительных размеров: счетчика штуцеров	G ¾ G ½
Масса без комплекта монтажных частей, кг	0,5

3.2.3 Первичный измерительный преобразователь температуры

Для измерения температуры масла и мазута в лабораторной установке применялся термопреобразователь сопротивления «ДТСО 35Л-100М.0.5.60.И», производства фирмы «ОВЕН» (г. Москва). Термопреобразователь сопротивления представлен на рисунке 3.11.

Принцип действия термосопротивления основан на свойстве проводника изменять электрическое сопротивление с конфигурацией температуры внешней окружающей среды.

Основные технические характеристики термопреобразователя сопротивления приведены в таблице 3.2.



Рисунок 3.11 -Термопреобразователь сопротивления «ДТСО 35Л-100М.0.5.60.И»

Таблица 3.2 Технические характеристики термопреобразователя сопротивления «ДТСО 35Л-100М.0.5.60.И»

Показатель	Значение
1	2
Диапазон измеряемых температур	-50...+180 градусов
Класс допуска	В;С
Условное давление	10 МПа
Сопротивление изоляции	не менее 100 Мом
Длина кабельного вывода	0,2 м- стандарт
Показатель тепловой инерции	не более 10...30 с
Исполнение сенсора относительно корпуса	изолированный
Материал защитной арматуры	сталь 12Х18Н10Т
Степень защиты	IP54

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.

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

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

Величина погрешности результата измерений физической величины дает представление о том, какие цифры в числовом значении измеряемой величины сомнительны. Поэтому результаты измерений следует округлять перед тем, как производить с ними дальнейшие вычисления [17].

Округлять числовое значение результата измерений следует в соответствии с числовым разрядом значащей цифры погрешности. При этом выполняют общие правила округления.

При практической обработке результатов измерений можно последовательно выполнить следующие операции:

Планирование эксперимента

- Записать результаты измерений;

Вычислить среднее значение из n измерений:

$$a = \frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^n a_i$$

Определить погрешность отдельных измерений:

$$V_i = a - a_i$$

- Вычислить квадраты погрешностей отдельных измерений V_i^2

Если несколько измерений резко отличаются по своим значениям от остальных измерений, то следует проверить, не являются ли они промахом. При исключении одного или нескольких измерений п. 1 ... 4 повторить;

Определяется средняя квадратичная погрешность результата серии измерений

									Лист
									60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	МД-02069964-13.04.01-06-18				

$$S_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V^2}{n(n-1)}}$$

Задается значение надежности a ;

Определяется коэффициент Стьюдента

для выбранной надежности a и числа проведенных измерений n ;

Находятся границы доверительного интервала

$$\Delta x = t_a(n) \cdot S_a$$

Если величина погрешности результата измерений (п. 9) окажется сравнимой с величиной d погрешности прибора, то в качестве границы доверительного интервала следует взять величину:

$$\Delta x = \sqrt{t^2(n)S^2 + \left[\frac{t_{a(\infty)}}{3}\right]^2 \cdot \delta^2}$$

Записать окончательный результат:

$$x = a \pm \Delta x$$

Оценить относительную погрешность результата серии измерений

$$a = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%$$

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

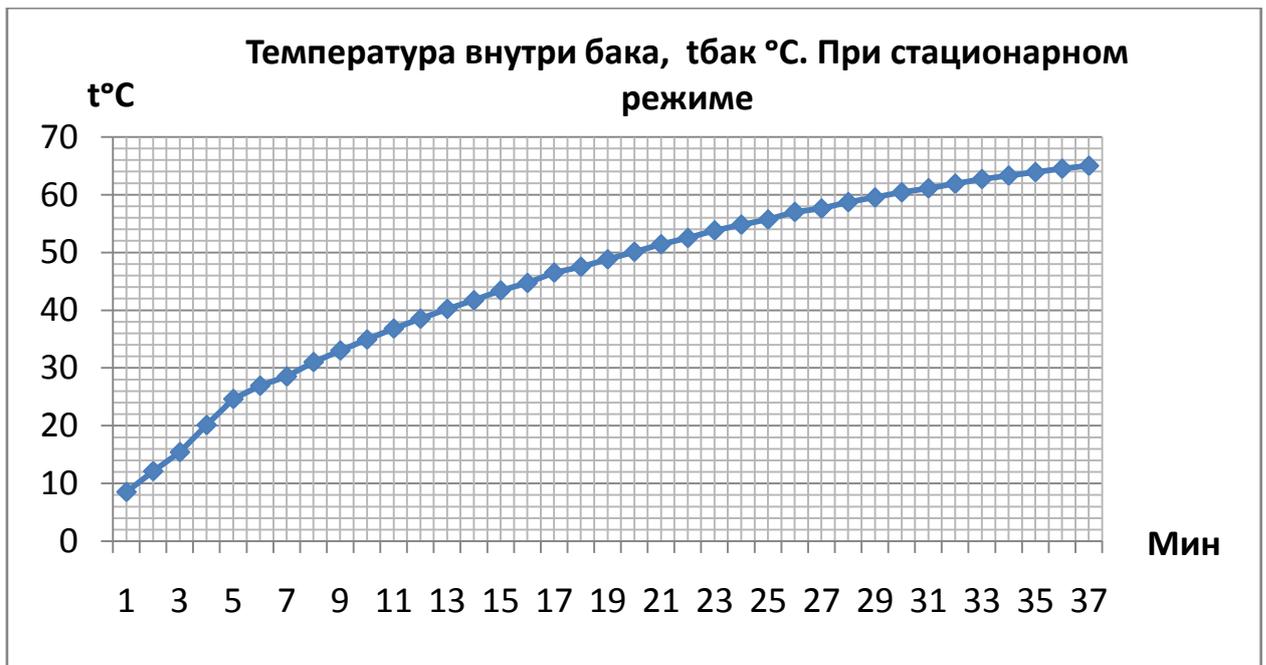


Рисунок 4.1 – График зависимости температуры от времени, при стационарном режиме

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;

- температура наружного воздуха 20° C;
- замеры температуры производился с периодичностью 1 мин.

Первый эксперимент проводился с частотой прерывания потока теплоносителя в подводящем трубопроводе равной 1 Гц.

Проведение замеров температуры подогреваемой воды в кожухе теплообменника от начальной температуры, равной 8,5° C, до нормативной, равной 65° C, 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° C, до нормативной, равной 65° C.

Полученные данные заносятся в таблицу и обрабатывались с помощью программного комплекса Microsoft Excel. В результате эксперимента полученные следующие данные, представленные в таблице 4.2, и на рисунке 4.2, а так же время нагрева от начальной температуры до нормативной порядка 23 минут.

Как видно из полученного графика нагрев, от начальной температуры, равной 8,5° C, до нормативной, равной 65° C, происходил за период времени равный 23 минут, более интенсивно, в сравнении с стационарным режимом, по зависимости, близкой к экспотенциальной. Средняя разница температуры на входе и на выходе из змеевика, составила 7.2° C.

Таблица 4.2 – результаты эксперимента в импульсном режиме частотой 1 Гц

Импульсный режим, частота 1 Гц.				
Время, Т, мин	Температура на входе в змеевик, t1, °C	Температура на выходе из змеевика, t2, °C	Температура внутри бака, tбак, °C 1 Гц	Разница температуры на входе и на выходе из змеевика, Δ, °C
0	80	66,3	8,5	13,7
1	80	67,4	15,6	12,6
2	80	67,8	19,7	12,2
3	80	69,2	22,7	10,8
4	80	70	26	10
5	80	70,1	29,1	9,9
6	80	70,3	32,4	9,7
7	80	71,1	35,3	8,9
8	80	72,1	38,5	7,9
9	80	72	40,3	8
10	80	73,1	43,3	6,9
11	80	73,2	46	6,8
12	80	73,4	48,3	6,6
13	80	73,4	50,2	6,6
14	80	74,3	52,3	5,7
15	80	75,1	54,4	4,9
16	80	75,1	55,8	4,9
17	80	75,2	57,6	4,8
18	80	74,7	59,3	5,3
19	80	75,7	60,6	4,3
20	80	76,2	62	3,8
21	80	76,3	63,5	3,7
22	80	77,1	64,6	2,9
23	80	77,6	65,3	2,4

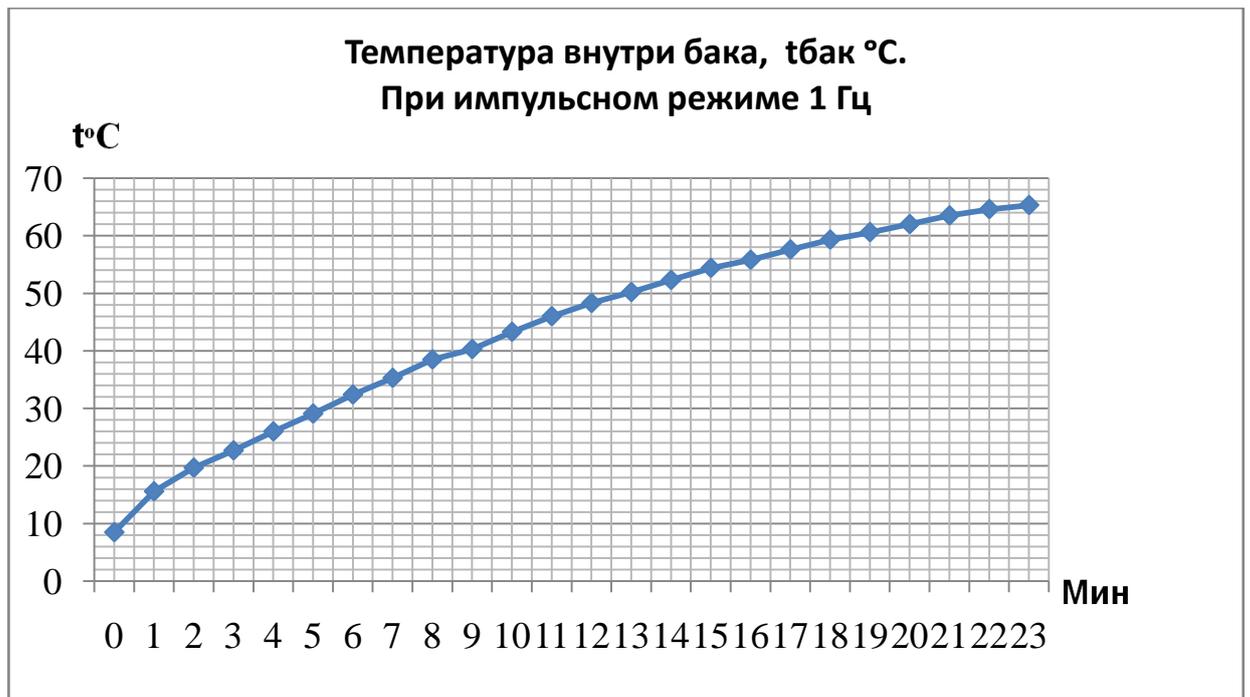


Рисунок 4.2 – График зависимости температуры от времени, в импульсном режиме с частотой 1 Гц

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.

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 4.3, и на рисунке 4.3, а так же время нагрева от начальной температуры до нормативной порядка 16 минут.

Таблица 4.3 – результаты эксперимента в импульсном режиме с частотой 2 Гц

Импульсный режим, частота 2 Гц.				
Время, Т, мин	Температура на входе в змеевик, t1, °С	Температура на выходе из змеевика, t2, °С	Температура внутри бака, tбак, °С 1 Гц	Разница температуры на входе и на выходе из змеевика, Δ, °С
0	80	66,3	8,5	13,7
1	80	66,7	13,4	13,3
2	80	67	15,6	13
3	80	67,1	27,9	12,9
4	80	67,4	31,3	12,6
5	80	68	35,7	12
6	80	68,5	39,9	11,5
7	80	69,1	43,8	10,9
8	80	69,3	47	10,7
9	80	70	50	10
10	80	71,7	53	8,3
11	80	72,1	56	7,9
12	80	72,7	58,3	7,3
13	80	73,6	60,3	6,4
14	80	74,3	62,3	5,7
15	80	75	64	5
16	80	75,2	65	4,8



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;

- замеры температуры производился с периодичностью 1 мин.

Первый эксперимент проводим с частотой прерывания теплоносителя в подводящем трубопроводе равной 3 Гц.

Проведение замеров температуры подогреваемой воды в кожухе теплообменника от начальной температуры, равной $8,5^{\circ}\text{C}$, до нормативной, равной 65°C , 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 $8,5^{\circ}\text{C}$, до нормативной, равной 65°C .

Полученные данные заносились в таблицу и обрабатывались с помощью программного комплекса Microsoft Excel. В результате эксперимента полученные следующие данные, представленные в таблице 4.4, и на рисунке 4.4, а так же время нагрева от начальной температуры до нормативной порядка 16 минут.

Таблица 4.4 – результаты эксперимента в импульсном режиме с частотой 3 Гц

Импульсный режим, частота 3 Гц.				
Время, T, мин	Температура на входе в змеевик, $t_1, ^{\circ}\text{C}$	Температура на выходе из змеевика, $t_2, ^{\circ}\text{C}$	Температура внутри бака, $t_{\text{бак}}, ^{\circ}\text{C}$ 1 Гц	Разница температуры на входе и на выходе из змеевика, $\Delta, ^{\circ}\text{C}$
0	80	60,7	8,5	19,3
1	80	61,8	15,4	18,2
2	80	63,7	24,7	16,3
3	80	64,4	27,8	15,6
4	80	64,6	32,5	15,4
5	80	65,7	37	14,3
6	80	67,1	41,1	12,9
7	80	68,5	44,9	11,5
8	80	69,2	48,6	10,8
9	80	69,7	51,5	10,3
10	80	70,2	54	9,8
11	80	71,1	56,6	8,9
12	80	72,2	58,7	7,8
13	80	72,8	60,8	7,2
14	80	73,5	62,6	6,5
15	80	74,3	64,3	5,7
16	80	75,1	65,1	4,9

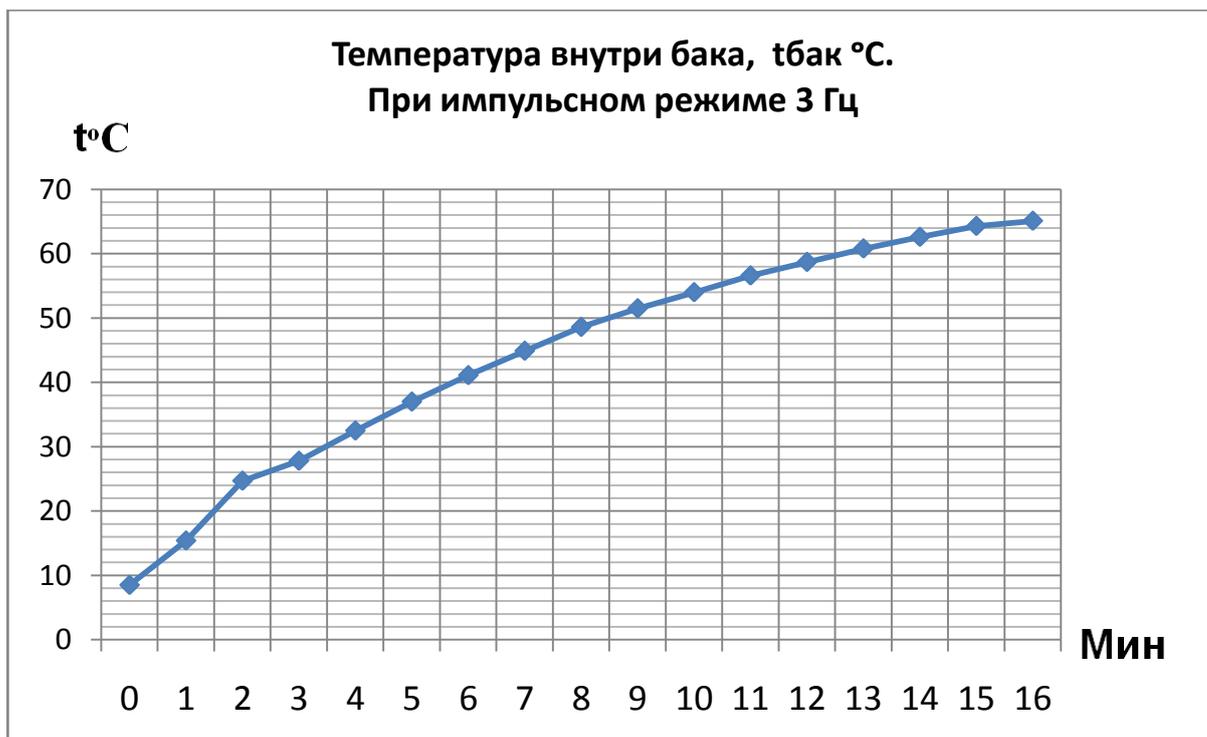


Рисунок 4.4 – График зависимости температуры от времени, в импульсном режиме с частотой 3 Гц

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-

таты, представленные на графиках (рисунках 4.1-4.3). В качестве критерия интенсивности теплопередачи принималось время нагрева подогреваемой воды в кожухе теплообменника от начальной температуры, равной 8,5° С, до нормативной, равной 65° С:

- стационарный режим – 36 минут;
- импульсный режим с частотой 1 Гц – 22 минуты;
- импульсный режим с частотой 2 Гц – 16 минут;
- импульсный режим с частотой 3 Гц – 16 минут.

Сравнительная оценка интенсивности теплопередачи по всем четырем режимам работы наглядно видны при сопоставлении графиков. Результирующий график, представленный на рисунке 4.5.

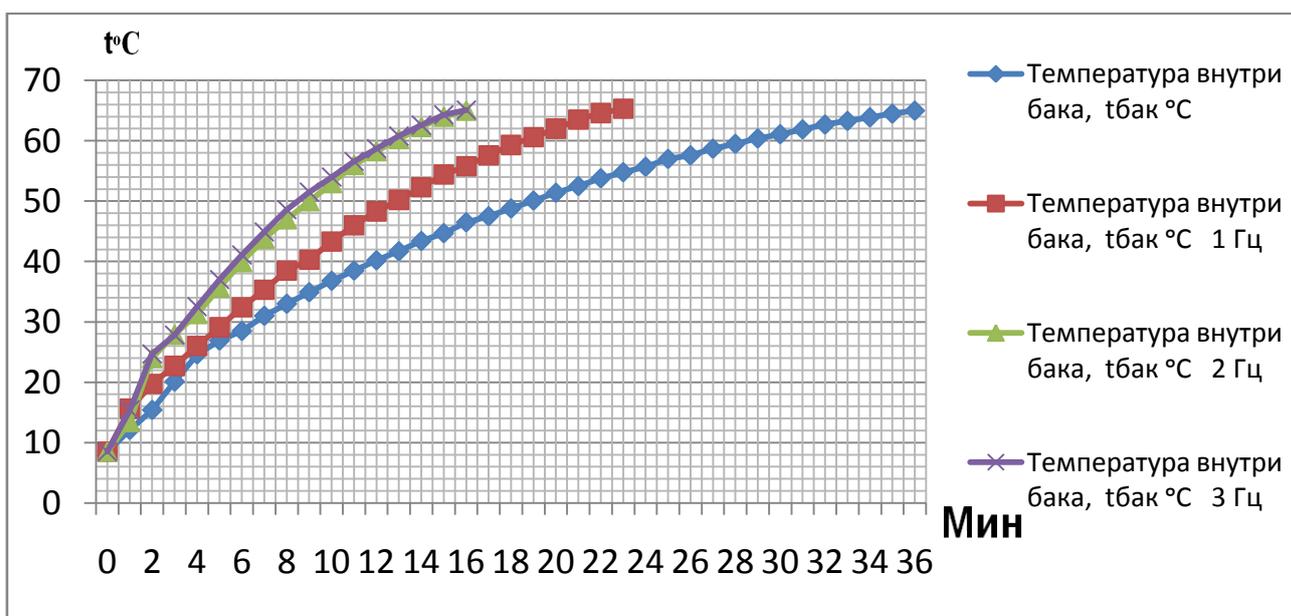


Рисунок 4.5 – Сравнение четырех режимов в теплопередачи

Визуально сравнивая на полученном графике (рисунок 4.5) стационарный режим, импульсный режим с частотой 1 Гц, импульсный режим с частотой 2 Гц, импульсный режим с частотой 3 Гц, мы заключаем что наилучшим режимами теплопередачи являются импульсный режим с частотой 2 Гц и

импульсный режим с частотой 3 Гц. Разница по времени нагрева между стационарным и импульсными режимами составляет:

- импульсный режим с частотой 1 Гц – 14 минут;
- импульсный режим с частотой 2 Гц – 20 минут;
- импульсный режим с частотой 3 Гц – 20 минут.

Что непосредственно подтверждает, то, что наилучшими режимами работы емкостного теплообменника являются: импульсный режим с частотой 2 Гц. При дальнейшем росте частоты прерывания потока теплоносителя, интенсивность теплопередачи остается прежней, что и при 2 Гц.

Разница средней разницы температур между подающим и отводящим патрубком, по сравнению стационарным режимом повысилась на:

- 3.2° С для импульсного режима с частотой 1 Гц;
- 5.7° С для импульсного режима с частотой 2 Гц;
- 7.5° С для импульсного режима с частотой 3 Гц.

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.

4.2.5 Математическое моделирование результатов эксперимента в импульсном режиме, (частота 2 Гц)

Для математического моделирования результатов эксперимента воспользуемся аппроксимацией функции.

Аппроксимацией называется получение некой функции, приближенно описывающей какую-то функциональную зависимость $f(x)$, заданную таблицей значений, либо заданную в виде, неудобном для вычислений. При этом эту

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

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.

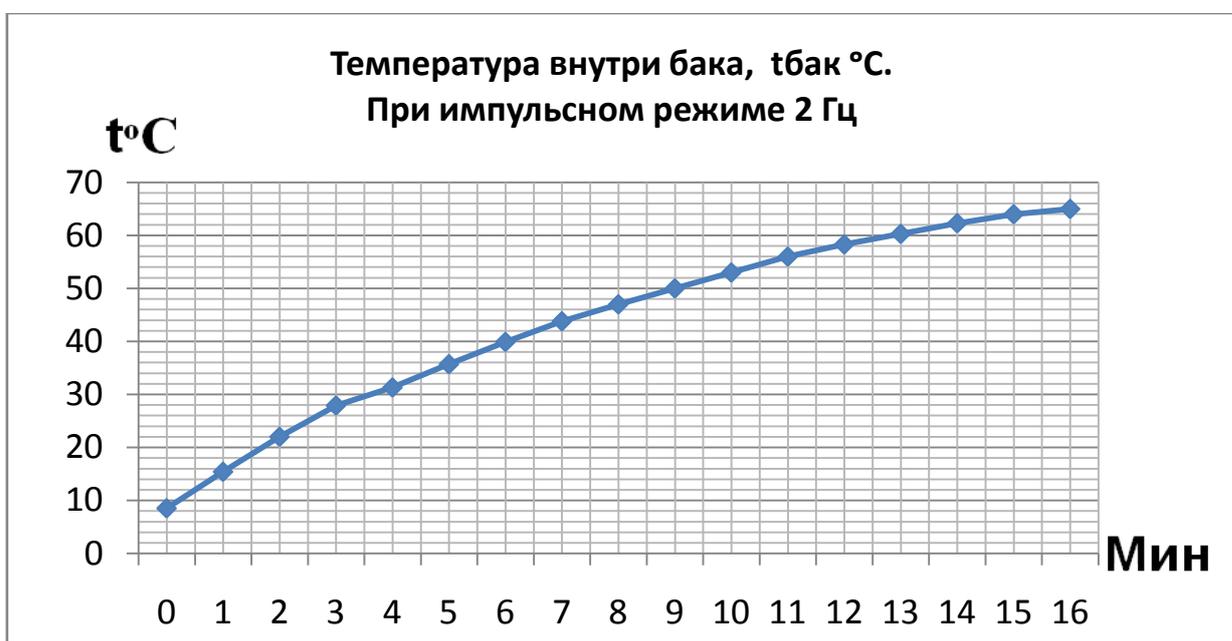


Рисунок 4.3 – График зависимости температуры от времени, в импульсном режиме с частотой 2 Гц

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.

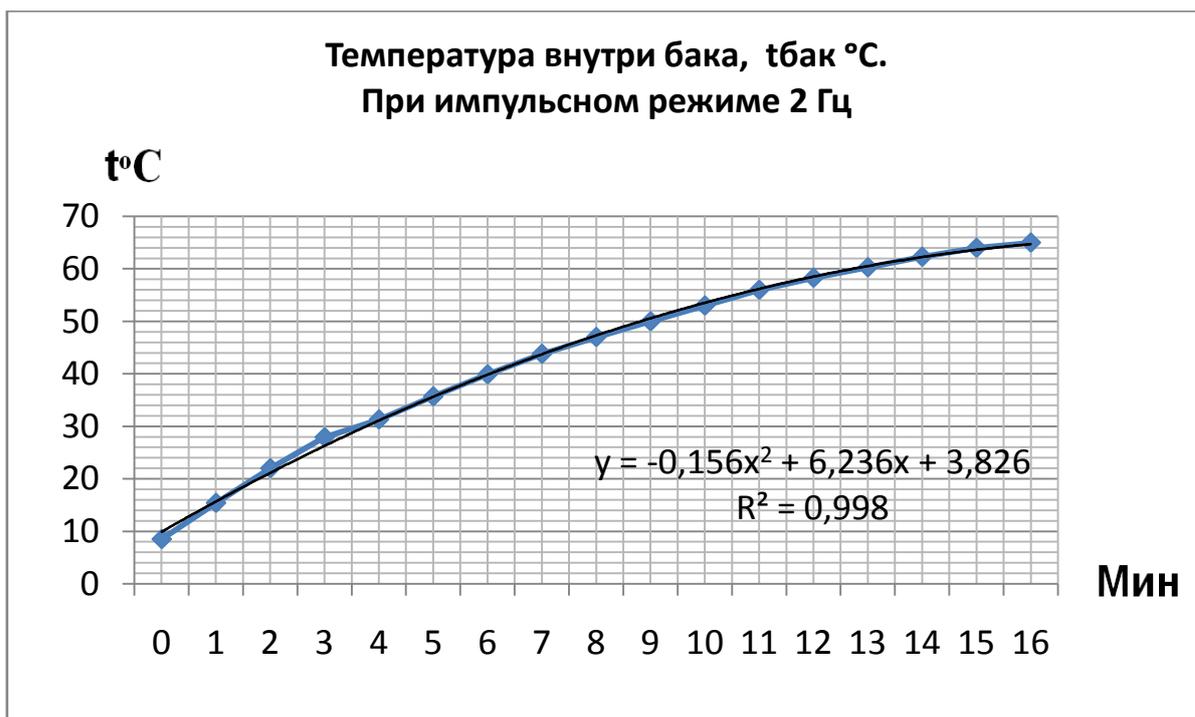


Рисунок 4.6 – Аппроксимация функции зависимости температуры от времени, в импульсном режиме с частотой 2 Гц

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) Архипов Л.И. Сборник примеров и задач по тепломассобменным процессам, аппаратам и установкам / Л.И. Архипов, В.А.Гобенко, А.Л.Ефимов, А.Г.Илларионов / Московский энергетический институт. Москва 2001. 69-71
- 2) Заявка 2018118220 Российская федерация, МПК F28F 1/100. Теплообменник / А.П.Левцев, М.П.Могдарев; заявитель и патентообладатель ФГБУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарева» - №2013143316/06, заявл. 29.04.2018; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1 – 3-5с. : ил
- 3) Костомаров, Л.С. Программирование и численные методы : Для студентов естеств. фак. ун-тов, пед. вузов, изучающих программирование и числ. методы, а также аспирантов и преподавателей, использующих в своей практике ЭВМ / Д.П. Костомаров, Л.С. Корухова, С.Г. Манжелей. - М. : Изд-во Моск. ун-та, 2001. - 223 с.
- 4) Левцев А.П. Информационные технологии в энергетике: учебное пособие : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 140100 - "Теплоэнергетика" / Ю. Д. Волков, Ю. А. Вантюсов, А. П. Левцев ; М-во образования и науки РФ, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Мордовский гос. ун-т им. Н. П. Огарёва". - Саранск : [б. и.], 2012. - 220 с.
- 5) Левцев А.П. Оценка и управление энергетическими процессами сельскохозяйственных агрегатов : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.20.01, 05.13.06 / А.П. Левцев.- Морд. гос. ун-т им. Н.П. Огарева. - Саранск, 2005. - 35 с.
- 6) Левцев А.П. Энергетическая цепь в импульсной системе теплоснабжения. ОАО «Типография «Рузаевский печатник», 2016. 503-511 с.
- 7) Левцев А.П. Импульсные системы тепло-, водоснабжения сельскохозяйственных объектов / А.П. Левцев, А.Н. Макеев, С.Ф. Кудашев /

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

Российский государственный аграрный университет МСХА им. Тимирязева.
Москва. 2010. 77-81 с.

8) Луканин В. Н. Теплотехника Москва: , Высш. шк., 2002. – 32 с.

9) Миндров К.А. Оценка потенциала малых колебаний в гидроприводах /
К.А. Миндров, А.П. Левцев, А.А. Кузнецов / ОАО «Типография «Рузаевский
печатник», 2016. 511 - 516 с.

10) Пат. 136551 Российская федерация, МПК F28F 1/100. Теплообменник
/ И.В.Панов; заявитель и патентообладатель ФГБУ ВПО «Мордовский
государственный университет им. Н.П.Огарева» - № 2013135584/06, заявл.
29.07.2013; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1 – 3-5с. : ил.

11) Пат. 1383083 Российская федерация, МПК F28F 1/40. Теплообменная
труба / А.А.Рыбин, Б.А.Носырев, А.П.Кошкин; заявитель и патентообладатель
Пермский политехнический институт- № 4117852/24-06, заявл. 15.09.1986;
опубл. 23.03.1988, Бюл. № 11 – 3-5с. : ил.

12) Пат. 2130150 Российская федерация, МПК F28D 7/02, F28G 7/00.
Спиральный теплообменник / Д.Г.Закиров, А.А.Рыбин; заявитель и
патентообладатель Межотраслевой научно-исследовательский институт эко-
логии топливно-энергетического комплекса - № 97105444/06, заявл.
07.04.1997; опубл. 10.05.1999, Бюл. № 1 – 3-5с. : ил

13) Пат. 2130155 Российская федерация, МПК F28D 7/02, F28 F 13/08.
Способ повышения эффективности теплообменного элемента / Я.Ю.Махдн,
А.В.Бараков, В.В.Черниченко; заявитель и патентообладатель Федеральное го-
сударственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Воронежский государственный
технический университет" - № 2012139997/06, заявл. 18.09.2012; опубл.
27.03.2014, Бюл. № 1 – 2-6с. : ил

14) Пат. 2355973 Российская федерация, МПК F28F 7/00. Способ защиты
от первичной накипи в ферромагнитных трубах водонагревателей, котлов и
теплообменников и устройство для его осуществления / Ю.А.Мордвинов; заяви-

										Лист
										79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

МД-02069964-13.04.01-06-18

тель и патентообладатель Мордвинов Юрий Алексеевич - № 2007122915/06, заявл. 18.06.2007; опубл. 20.05.2009, Бюл. №14 – 1-5с. : ил.

15) Пат. 2558740 Российская федерация, МПК F28F 1/100. Ударный узел / А.П. Левцев, А.Н. Макеев; заявитель и патентообладатель ФГБУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарева» - № 2013135584/06, заявл. 29.11.2013; опубл. 25.02.2014, Бюл. № 1 – 3-5с. : ил.

16) Пивоваров Н.В. Математические модели технических объектов / В. А. Трудоношин, Н. В. Пивоварова. Москва: , Высш. шк., 1986.; в 9 кн.; Кн. 4

17) Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.

18) ГОСТ 22270—76 (СТ СЭВ 2145—80) Оборудование для кондиционирования воздуха, вентиляции и отопления. Термины и определения.

19) СНиП 2.04.05-91 Отопление, вентиляция и кондиционирование.

20) СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование.

					МД-02069964-13.04.01-06-18	Лист
						80
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		