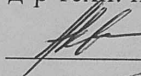


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н. П. ОГАРЁВА»

Институт механики и энергетики
Кафедра теплоэнергетических систем

УТВЕРЖДАЮ

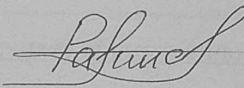
Зав. кафедрой
д-р техн. наук, проф.

 А.П. Левцев
(подпись)

«22» июня 2020 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
ПРОЕКТ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛОПУНКТА ОБЩЕСТВЕННОГО
ЗДАНИЯ С ПУЛЬСИРУЮЩЕМ ПОДМЕСОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Автор магистерской диссертации



10.06.20

Р.Р. Равилов

Обозначение магистерской диссертации МД-02069964-13.04.01-25-20

Направление 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Руководитель работы

канд. тех. наук.



16.06.20

С.Ф.Кудашев

Нормоконтролер

ст. преподаватель



12.06.20

А. И. Лысяков

Рецензент

канд. тех. наук, доцент



19.06.20

В. В. Кузнецов

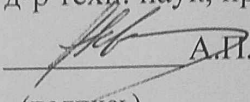
Саранск
2020

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.И. Левцев
(подпись)

«21» сентября 2020 г.

ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

(в форме магистерской диссертации)

Студент Равилов Рашид Рясимович

1 Тема Проект индивидуального теплопункта общественного здания с пульсирующим подмесом теплоносителя

Утверждена приказом №7882-С от 21.09.2018 г.

2 Срок представления работы к защите 26.06.2020 г.

3 Исходные данные для научного исследования (проектирования) ГОСТы, СНиПы, патентная база, РД, методические рекомендации, научно-техническая литература по заданной теме

4 Содержание выпускной квалификационной работы


4.1 Анализ литературных источников по теме создания импульсного режима течения и схемных решений ИТП

4.2 Определение пропускной способности клапана при импульсной режиме

4.3 Экспериментальное определение количества жидкости нагнетаемой в гидроаккумулятор при импульсном режиме течения

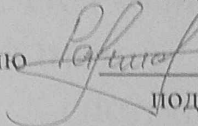
4.4 Проектирование ИТП с импульсным течением теплоносителя для 9-ти
этажного дома

Руководитель работы

 21.09.2018
подпись, дата

С. Ф. Кудашев
инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

 21.09.2018
подпись, дата

Р. Р. Равилов
инициалы, фамилия

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит листов 77, рисунков 29, таблиц 16, использованных источников 45.

ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ, ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ТАРАН, ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ, МАКЕТНЫЙ ОБРАЗЕЦ, УДАРНЫЙ УЗЕЛ, ГИДРОАККУМУЛЯТОР, СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ, ИМПУЛЬСНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ.

Объектом исследования является индивидуальный тепловой пункт с импульсным течением теплоносителя, а также режим его работы с использованием ударного узла.

Цель диссертационного исследования - проектирование индивидуального теплового пункта с импульсным течением теплоносителя.

В процессе работы проводился информационный поиск, теоретические исследования и конструктивный расчет необходимых элементов установки с импульсной подачей теплоносителя.

В результате этой проведенной работы, была разработана принципиальная схема индивидуального теплового пункта с импульсной подачей теплоносителя и произведен расчет и подбор всех составляющих его элементов.

МД-02069964-13.04.01-25-20

Изм.	Лит	№ докум	Подп.	Дата	Проект индивидуального теплопункта общественного здания с пульсирующим подмесом теплоносителя	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Равилов Р.Р.	<i>Равилов</i>	10.06.20				
Проверил		Кудашев С.Ф.	<i>Кудашев</i>	16.06.20			5	77
Н контр.		Лысяков А.И.	<i>Лысяков</i>	12.06.20		ИМЭ каф. ТЭС, д/о, 213		
Утв.		Левцев А.П.	<i>Левцев</i>	22.06.20				

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Обзор и анализ информационных источников по проблеме исследования	8
1.1 Виды подключения абонентов к теплосети	8
1.2 Схемы присоединения абонента к тепловой сети	10
1.3 Элеваторный узел	11
1.4 Схемы ИТП с двухклапанным ПП	16
1.5 Анализ устройств с использование ПП	20
2 Теоретические предпосылки	29
2.1 Анализ условий (требований)	29
2.2 Разработка устройства	30
2.3 Разработка математической модели устройства	32
2.4 Результаты математического моделирования	36
3. Экспериментальная установка	39
3.1 Разработка схемы экспериментальной установки	39
3.2 Ударный узел	41
3.3 Циркуляционный насос	44
3.4 Гидроаккумулятор	47
4. Экспериментальные исследования	53
4.1 Обработка результатов экспериментальных данных	53
4.2 Проект индивидуального теплового пункта	60
3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	72
3. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	73

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		5

ВВЕДЕНИЕ

Для системы теплоснабжения России характерно максимальное упрощение оборудования тепловых вводов большинства потребителей. Это использование элеваторов на вводе и наличие центральных тепловых пунктов.

Повышение эффективности автоматического регулирования отопления позволит использовать 70% той энергии, которая расходуется сейчас. Организация индивидуальных тепловых пунктов имеет ряд других преимуществ: удобство эксплуатации и обслуживания; отсутствие внутри дворовых сетей горячего водоснабжения; сокращение тепловых потерь и утечек воды в системах горячего водоснабжения; появляется возможность мониторинга состояния тепловых сетей, а наличие узлов учета на вводах потребителей позволяет более точно определять фактические тепловые потери и разрабатывать мероприятия по их снижению, также сокращается число плановых и аварийных отключений, и, как следствие, повышается надежность всей энергосистемы.

Недостатком протяженных сетей теплоснабжения является резкое отличие располагаемых давлений у абонентов в начале и конце участка тепловой сети. При этом гидравлические характеристики систем отопления и горячего водоснабжения многих зданий сильно различаются. За счет чего у некоторых зданий подключенных к одной тепловой сети располагаемое давление на входе сильно избыточно, у других наблюдается недостаток располагаемого давления

Целью работы является проектирование индивидуального теплового пункта с импульсным течением теплоносителя, путем проведения экспериментальных исследований подтверждающих возможность использования методики расчета гидравлического тарана для систем с импульсным течением теплоносителя.

Задачи диссертационного исследования:

- 1) Анализ литературных источников по теме исследования.
- 2) Математическое моделирование течения теплоносителя в ИТП при импульсном режиме течения.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		6

- 3) Экспериментальная проверка методики расчета производительности гидравлического тарана.
- 4) Составление схемы экспериментальной установки для проверки методики расчета производительности гидравлического тарана.
- 5) Получение и обработка экспериментальных данных.
- 6) Проектирование ИТП с импульсным течением теплоносителя для существующего здания.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		7

1 Обзор и анализ информационных источников по проблеме исследования

1.1 Виды подключения абонентов к теплосети

Практически каждая система централизованного теплоснабжения имеет основную проблему, связанную с наладкой и регулировкой гидравлического режима. Если не обращать внимания данным опциям, то помещение либо не нагревается до конца, либо перегревается (появление перетоков перерасхода теплоэнергии). Для решения проблемы можно использовать индивидуальный тепловой пункт (ИТП), который обеспечивает пользователя тепловой энергией в том количестве, которое ему необходимо. Автоматизированный индивидуальный тепловой пункт ограничивает расход сетевой воды в отопительных системах потребителей, которые расположены рядом с центральным тепловым пунктом. Благодаря ИТП эта сетевая вода перераспределяется к удаленным потребителям. Кроме того, за счет ИТП энергия расходуется в оптимальном количестве, а температурный режим в квартирах остается всегда комфортным, независимо от погодных условий. Автоматизированный индивидуальный тепловой пункт, позволяет снизить сумму оплаты за тепло и потребление горячей воды. Благодаря ИТП тепловая энергия расходуется в доме в том количестве, в котором необходимо для поддержания комфортной среды. Именно в связи с этим множество «холодных» домов устанавливают индивидуальные тепловые пункты, чтобы избежать низкой некомфортной температуры. В статье автор показывает пример, как на анализе двух домов теплоснабжения зданий разное. Из графика 1.1 видно, как два дома потребляют теплоэнергию. В корпусе 1 установлен автоматизированный индивидуальный тепловой пункт, в корпусе 2 его нет.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		8

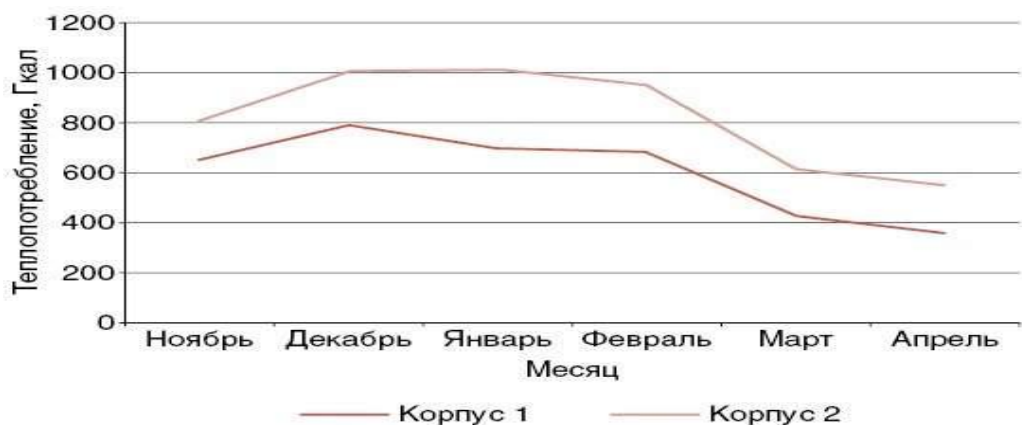


Рисунок 1.1 - Потребление тепловой энергии двумя корпусами

Анализируя данные можно сказать, что автор представил результаты по которым можно сказать, что с начала отопительного периода видно, как автоматизированный индивидуальный тепловой пункт, значительно снизил теплопотребления для здания, не теряя комфортные условия в помещениях. Дом напротив, который не присоединен к ИТП показал данные показатели теплопотребления выше чем у дома 1, тем самым в помещениях в некоторых месяцах было жарко и данные жильцы платили больше своих средств, по сравнению с домом с подключенной системой ИТП.

Теплоноситель, поступает в тепловой пункт (ТП) по подающему трубопроводу, отдает свое тепло в подогревателях систем горячего водоснабжения (ГВС) и отопления, после чего возвращается в обратный трубопровод. Затем теплоноситель возвращается в теплогенерирующее предприятие по магистральным сетям, для повторного использования. Температура воды теплоносителя, поступающего в тепловой пункт от ТЭЦ согласно температурного графика (150/70), автоматически корректируется в ТП в зависимости от температуры наружного воздуха.

Холодная вода, поступающая через водопроводный ввод в ТП, нагревается в подогревателе ГВС и поступает в циркуляционный контур системы ГВС. В циркуляционном контуре вода движется по контуру от ТП к потребителям и обратно, при помощи циркуляционных насосов горячего водоснабжения, а потребители, по мере необходимости, отбирают часть горячей воды из контура.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		9

При циркуляции по контуру, вода постепенно отдает своё тепло в трубопроводах ГВС, и для того, чтобы поддерживать температуру воды на заданном уровне, её постоянно подогревают в подогревателе ГВС.

Система отопления также представляет замкнутый контур, по которому теплоноситель движется при помощи циркуляционных насосов отопления от теплового пункта (ТП) к системе отопления здания и обратно. По мере эксплуатации системы отопления здания, необходимо опорожнения стояков или всей системы и заполнения ее теплоносителем. Кроме того, может произойти утечка теплоносителя из контура системы отопления. Для заполнения системы отопления и восполнения потерь служит система подпитки теплового пункта. Из обратного трубопровода тепловой сети теплоноситель по подпиточному трубопроводу подается в систему отопления здания. Его количество измеряется измерительным прибором учета.

1.2 Схемы присоединения абонента к тепловой сети

Теплообменник и контролирующее оборудование позволяет регулировать температуру воды в обогревательном контуре по реальным показаниям воздуха. Выделяют 2 системы такого рода:

Зависимая схема - увеличивает или уменьшает температуру подаваемой жидкости перемешиванием остывшего теплоносителя из обратного трубопровода. Контроллер следит за изменениями температуры и автоматически включает насосы и клапаны. Обязательна установка регуляторов давления, поскольку этот показатель в первичных и вторичных сетях отличается.

Независимая - вода, используемая для обогрева дома, циркулирует по замкнутому контуру, тепло от теплоносителя из магистрали передается только через теплообменник. Регуляторы давления здесь не нужны, регулировка температуры выполняется точнее и быстрее. Стоимость ТП с независимой схемой

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		10

выше, однако она экономичнее в использовании: вода не загрязняется, не перегревается, не приводит к коррозии труб и радиаторов.

Выбор схемы, присоединения абонента к тепловой сети, производится прежде всего, в соответствии с параметрами теплоносителя на входе в здание и характеристиками внутренних систем. Параметры теплоносителя на вводе указывают теплоснабжающие организации. Этими параметрами являются: давление, а также возможный диапазон колебания этих давлений, расчетный график температур в сети. Характеристики внутренних систем выполняются в соответствии с проектом или по результатам натурных измерений.

В рассмотренных ИПТ неизменным пунктом является наличие насосов, в противном случае они не могут обеспечить циркуляцию теплоносителя. При этом существуют зависимое подключение абонентов через элеваторные узлы смешения.

1.3 Элеваторный узел

Элеватор водяного отопления - (изобретение советского инженера В. М. Чаплина) водоструйный насос, применяемый для подмешивания к горячей воде, поступающей из системы теплоснабжения, воды из обратного теплопровода.

В большинстве случаев используют элеватор (рисунок 1.2), где требуемая температура воды обеспечивается необходимой пропорцией смешения. Элеватор - это используемый в системах теплоснабжения струйный аппарат, у которого активным и пассивным потоками служит вода.

Принцип работы узла. Теплоноситель под давлением P_1 подается в корпус сопла (стакан). После сопла поток теплоносителя поступает в смесительную камеру. За счет разницы давлений ($P_1 > P_2$) поток теплоносителя поступает далее в расширенный корпус элеватора, вытягивая часть охлажденного теплоносителя из системы отопления (P_2, t_2). В результате смешивания получают теплоноситель

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		11

с параметрами P_3, t_3 , который подается в систему отопления здания. При этом должны соблюдаться неравенства: $P_1 > P_3 > P_2$ и $t_1 > t_3 > t_2$

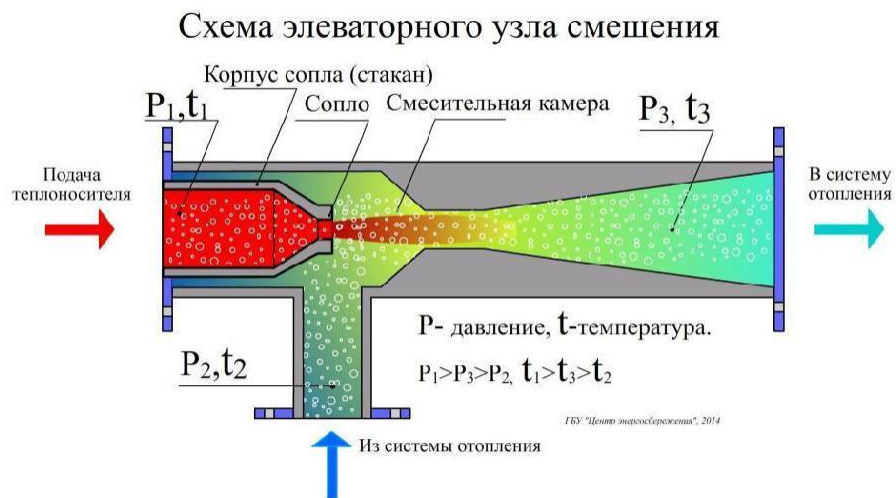


Рисунок 1.2 - Принципиальная схема струйного аппарата

Данный элеваторный имеет ряд недостатков, как настройка режима работы (коэффициента смешивания) производится подбором диаметра сопла и дроссельного устройства (ограничительной шайбы) перед элеватором; рабочая точка смесительной характеристики элеватора зависит от давления на входе, при его изменении режим работы меняется; принципиальная невозможность глубокой регулировки параметров теплоносителя по погодным условиям и потребностям абонента.

Снижение температуры сетевой воды, поступающей в систему отопления зданий при зависимой схеме теплоснабжения, до требуемых значений (в соответствии с температурой наружного воздуха) в большинстве случаев, как и ранее, в нашей стране осуществляется с помощью водоструйных элеваторов.

В то же время по-прежнему существует проблема перерасхода тепловой энергии для отопления общественных зданий в то время, когда в них отсутствуют люди. Это время может составлять от 40 до 70% продолжительности отопительного сезона. Кроме того, ежегодно, как в жилых, так и в нежилых зданиях, осенью и весной отопительные системы с элеваторным подключением

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		12

по зависимой схеме и с открытым водоразбором в течение 40-50 суток работают с перетопом.

Обычные элеваторные узлы, не подходят для решения данных проблем. Если для снижения теплопотребления попытаться уменьшить расход сетевой воды, то потребление воды в системе отопления будет уменьшено в той же пропорции, что сразу же приведет к несоответствию системы отопления здания

Одним из вариантов снижения затрат на отопление в таких случаях является использование индивидуального теплопункта с импульсной подачей теплоносителя.

Теплообменники системы горячего водоснабжения (ГВС) работают в условиях постоянно изменяющихся расходов, которые характеризуют высокие коэффициенты часовой и суточной неравномерности потребления горячей воды. Выбор мощности теплообменников производится исходя из обеспечения максимальной тепловой нагрузки ГВС. В то же время, продолжительность пиковой нагрузки часто бывает незначительна, т.е. теплообменники работают в течении длительного времени, при расходах ниже номинального. Известно, что снижение расхода, приводит к уменьшению коэффициента теплопередачи и снижению энергетической эффективности теплообменника. Благодаря своей компактности, высокому коэффициенту теплопередачи пластинчатые теплообменники получили широкое распространение в системах теплоснабжения в качестве теплообменников ГВС.

Анализируя статью [13], повышение коэффициента теплопередачи, можно осуществить путем создания в течении теплоносителя пульсирующий режим, который создается при помощи одноклапанного преобразователя потока (ПП). В результате, будет разработана система теплоснабжения с импульсной циркуляцией теплоносителя на основе одноклапанного ПП.

Горячее водоснабжение тоже реализуется по 2 схемам:

Одноступенчатая - вода из водопровода подается на подогреватель. Нагревается сетевым теплоносителем, который пришел от источника. Охлажденная сетевая передается к источнику, а нагретая водопроводная поступает к потребителю.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		13

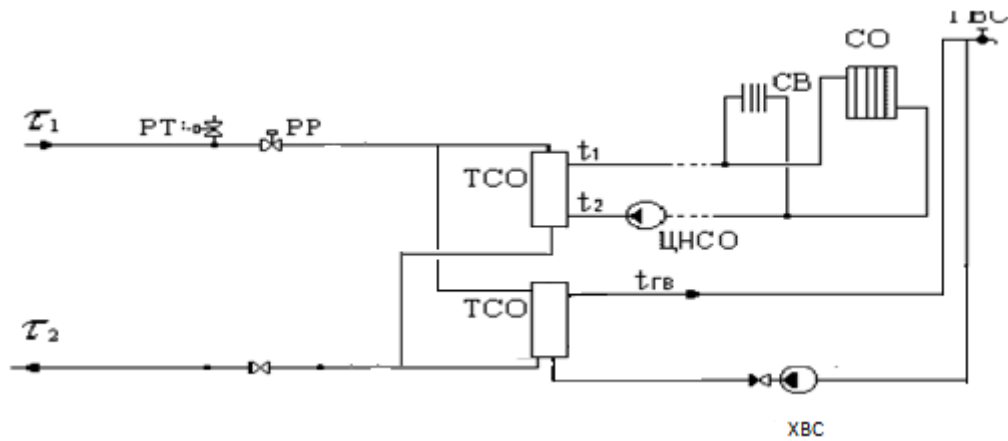


Рисунок 1.3 - Одноступенчатая схема ГВС и отопление

Преимущество схемы (рисунок 1.3) заключается в том, что системы отопления получают постоянный расход сетевой воды через регулятор расхода независимый от переменного расхода сетевой воды на горячее водоснабжение. Простота и относительная дешевизна. Недостатки — схема неэкономична по расходу теплоносителя, ее применение ведет к увеличению мощности насосных станций и диаметров теплосетевых труб.

Двухступенчатая - вода нагревается в 2 этапа (рисунок 1.4). Сначала за счет теплоносителя из обратного трубопровода, затем догревается благодаря использованию подающего теплопровода.

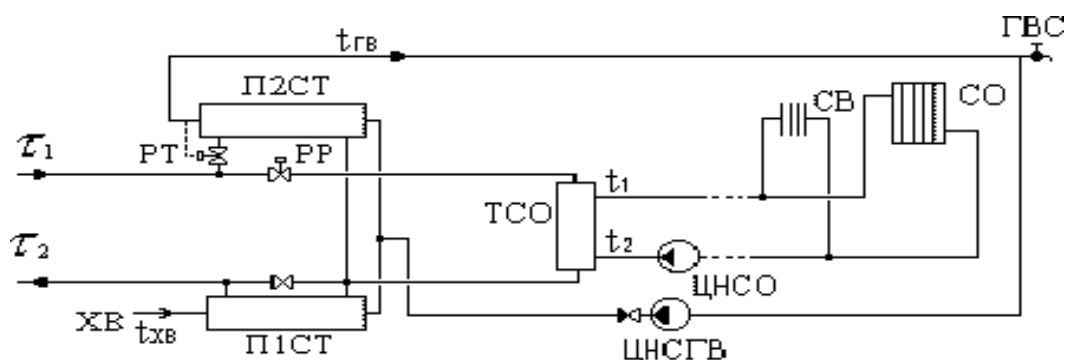


Рисунок 1.4 - Двухступенчатая схема ГВС и отопление

К преимуществам двухступенчатой последовательной схемы можно отнести, что она является достаточно простой и позволяет экономить до 40% расхода теплоносителя и наименьший, по сравнению со всеми схемами установки водонагревателей, расход теплоносителя по сравнению параллельной одноступенчатой схемой. К недостаткам такой схемы можно отнести завышение площади поверхностей нагрева и тот факт, что работа теплового узла, собранного по ней, невозможна без автоматического регулирования.

В независимой схеме отопления ИТП в соответствии с ней устанавливают пластинчатый теплообменник, рассчитанный на стопроцентную нагрузку. Также возможен монтаж сдвоенного насоса, который компенсирует потери уровня давления. Отопительную систему подпитывает обратный трубопровод теплосетей. ТП данного типа могут быть оснащены блоком ГВС, счетчиком и иными необходимыми узлами и блоками. Схема автоматизированного теплового пункта индивидуального типа для ГВС часто бывает независимая. Она бывает параллельной и одноступенчатой. Такой ИТП содержит 1-2 пластинчатых теплообменника, и каждый должен работать с нагрузкой 50 %. Комплектация теплового пункта также предусматривает группу насосов, которые предназначены для компенсации понижения давления. Блок отопительной системы, счетчики и другие узлы и агрегаты также иногда устанавливаются в ТП. Организация автоматизированного теплового пункта в этом случае, организуется по независимой схеме. Для системы отопления предусмотрен пластинчатый теплообменник, рассчитанный на стопроцентную нагрузку. Схема ГВС является двухступенчатой, независимой. В ней два пластинчатых теплообменника. Чтобы компенсировать понижение уровня давления, схема индивидуального теплового пункта предполагает установку группы ударных узлов.

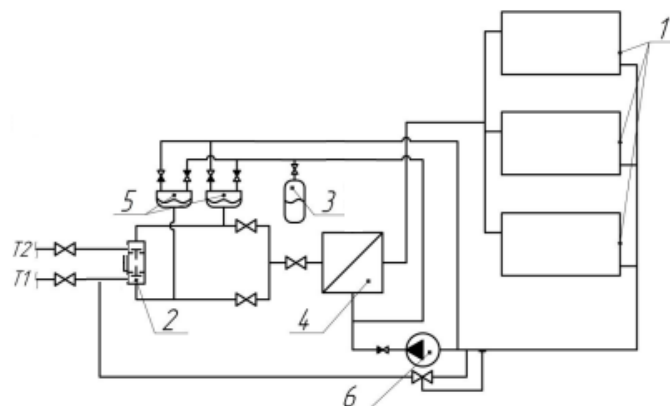
Для подпитки системы отопления, предусмотрено соответствующее насосное, ударное оборудование из обратного трубопровода теплосетей. ГВС подпитывает система ХВС. Кроме того, в индивидуальном тепловом пункте есть счетчик. ИТП для отопления, горячего водоснабжения и вентиляции. Тепловая установка подключается по независимой схеме. Для системы отопления и вентиляции используют пластинчатый теплообменник, выдерживающий нагрузку

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		15

в 100 %. Схему ГВС можно обозначить как одноступенчатую, независимую и параллельную. В ней есть два пластинчатых теплообменника, каждый из которых рассчитан на нагрузку 50 %. Понижение уровня давления компенсируется группой насосов. Отопительная система подпитывается благодаря обратному трубопроводу теплосетей. ГВС подпитывается из ХВС.

1.4 Схемы ИТП с двухклапанным ПП

Для зависимого подключения абонентов к тепловой сети в (рисунок 1.5) предлагается следующая схема (рисунок 1.6). Использование преобразователя потока позволяет за счет мембранных насосов 5 увеличить кратность циркуляции в системе отопления здания.



1 - отопительные приборы абонентов; 2 - двухклапанный ПП; 3 - гидроаккумулятор; 4 - теплообменник системы ; 5 - мембранный насос; 6 - выпускной клапан; T1, T2 - подающий и обратный трубопровод.

Рисунок 1.5 - Схема импульсной системы для зависимого подключения системы отопления

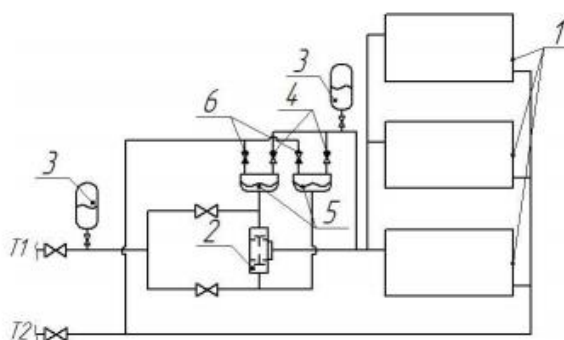
В описании данной схемы автор [7] рекомендует схему подключения мембранных насосов параллельную, за счёт чего будет увеличиваться

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		16

производительность насосной установки по сравнению с последовательной схемой подключения мембранных насосов.

При использовании импульсного режима течения теплоносителя на основе двухклапанного ПП, будет возможно организовать систему отопления с зонным разделением без применения повысительного циркуляционного насоса для второй зоны циркуляции.

В данной (рисунок 1.6) схеме автор статьи демонстрирует, что с помощью подводящих трубопроводов теплоноситель из тепловой сети будет поступать отдельно к каждому ударному клапану ПП 2, установленному на подводящем трубопроводе системы отопления.



1 - отопительные приборы абонентов; 2 - двухклапанный ПП; 3 - гидроаккумулятор; 4 - впускной клапан; 5 - мембранный насос; 6 - выпускной клапан; T1, T2 - подающий и обратный трубопровод.

Рисунок 1.6 - Схема абонентского ввода с двухклапанным ПП и мембранными насосами

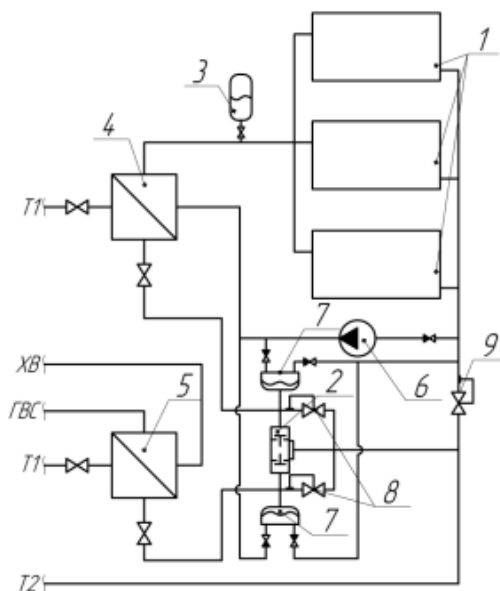
На каждом подводящем трубопроводе установлен обратный клапан 4, соединенный с подающим трубопроводом верхней зоны циркуляции отопительной системы. Выходной патрубок ПП 2 соединен с подающим трубопроводом нижней зоны циркуляции системы отопления.

На анализе схемы циркуляции на основе двухклапанного ПП, автор демонстрирует, что при схеме индивидуального теплового пункта с независимым подключением к тепловой сети, можно одновременно использовать влияние

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		17

импульсного расход на коэффициент теплопередачи, а также использовать дросселируемый напор тепловой сети. [7]

В данном (рисунок 1.7) теплообменники ГВС 5 и отопления 4 к тепловой сети подключены параллельно в подводящие трубопроводы ударных клапанов ПП 2. Мембранные насосы 7 установлены последовательно с теплообменниками на подводящих трубопроводах . Выходной патрубок ПП соединен с обратным трубопроводом тепловой сети. ПП 2 со стороны каждого ударного клапана байпасирован регулятором давления «до себя» 8. Контур отопления состоит из насосной группы циркуляционных насосов теплообменника отопления 4 и отопительных приборов абонентов 1, которые в свою очередь соединены последовательно.



1 - отопительные приборы абонентов; 2 - двухклапанный ПП; 3 - гидроаккумулятор; 4 - теплообменник системы отопления; 5 - теплообменник системы горячего водоснабжения; 6 - циркуляционный насос; 7 - мембранный насос; 8 - регулятор давления «до себя»; 9 - регулятор давления «после себя»; T1, T2 - подающий и обратный трубопроводы соответственно.

Рисунок 1.7 - Схема ИТП с импульсной циркуляцией на основе двухклапанного ПП

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		18

Подпитка контура отопления производится во всасывающий трубопровод циркуляционных насосов из обратного трубопровода греющего контура после ПП 2.

Анализируя литературные источники можно выделить особенности данной схемы, заключающиеся в том, что теплообменники установлены на подводящих трубопроводах к ударным клапанам ПП. За счёт этого и уменьшается расстояние от источника пульсаций до теплообменника, благодаря чему колебания доходят до теплообменника без изменения амплитуды и длины волны. В случае возникновения аварийной ситуации, когда клапаны могут заклиниваться в одном положении, давление в подводящих трубопроводах начинает повышаться и при достижении заданного значения регулятор давления открывается «до себя» 8, что препятствует полному прекращению расхода теплоносителя. Когда понижению давления в обратном трубопроводе системы отопления ниже установленной величины, то регулятор давления «после себя» 9 открывается и подпитывает систему отопления.

В настоящее время усовершенствование систем теплоснабжения идет по пути модернизации аппаратной обеспечения отдельных ее элементов. В большинстве случаев, они заменяются более совершенной модификации (кожухотрубчатые теплообменники на пластинчатые, механические регуляторы на электронные и т.п.). Более жесткие требования предъявляются к обеспечению гидравлического режима теплосети, который при большой протяженности и разветвленности сети обеспечить сложно. Поэтому при разработке схем развития теплоснабжения городов, определенные участки перспективной застройки отдают, под независимое присоединение потребителей.

Одним из способов повышения эффективности существующих систем теплоснабжения с независимым присоединением потребителей, может стать перевод течения теплоносителя в импульсный режим. Это может быть достигнуто с помощью применения гидравлического устройства, который использует гидродинамические силы самого движущего потока теплоносителя, для его привода. Конструкции гидравлического устройства, обычно бывают одноклапанные. Однако одноклапанные конструкции в замкнутых системах

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		19

теплоснабжения были не стабильны и неустойчивыми в работе. Кроме того, конструкция одноклапанного сильно ограничивает расход теплоносителя через контур .

Проводя опыт применения импульсного режима в контуре системы горячего водоснабжения (ГВС) с кожухотрубчатый теплообменником на базе одноклапанного ПП , автор [11] данной статьи выявил значительный потенциал (на уровне 40 %) при его стабильной работе .

В условиях изменения расхода теплоносителя в греющем контуре ГВС и более высокого гидравлического сопротивления теплообменника конструкция одноклапанного, является неперспективной. В связи с этим организация импульсного движения в греющем контуре ГВС для индивидуального теплового пункта (ИТП) на базе двухклапанного является актуальной и практически значимой .

Ссылаясь на литературные источники [7], автор рассматривает возможности систем с импульсной подачей теплоносителя в системе отопления здания, где этот режим организован при помощи адаптированной конструкции гидравлического тарана. В статье рассматривается возможность практического применения гидравлического тарана в индивидуальном тепловом пункте (ИТП) (замена элеваторного узла на гидравлическую таранную установку). Практические варианты применения связаны как с тепловыми, так и с гидравлическими эффектами, которые могут быть достигнуты, путем перехода к импульсному режиму течения теплоносителя.

1.5 Анализ устройств для создания пульсаций

В современных системах теплоснабжения и водоснабжения, для улучшения технико-экономических показателей, предлагается множество вариантов оптимизации. Одним из таких решений является использование локально генерируемых импульсов, определяющих величину движения рабочей среды. В

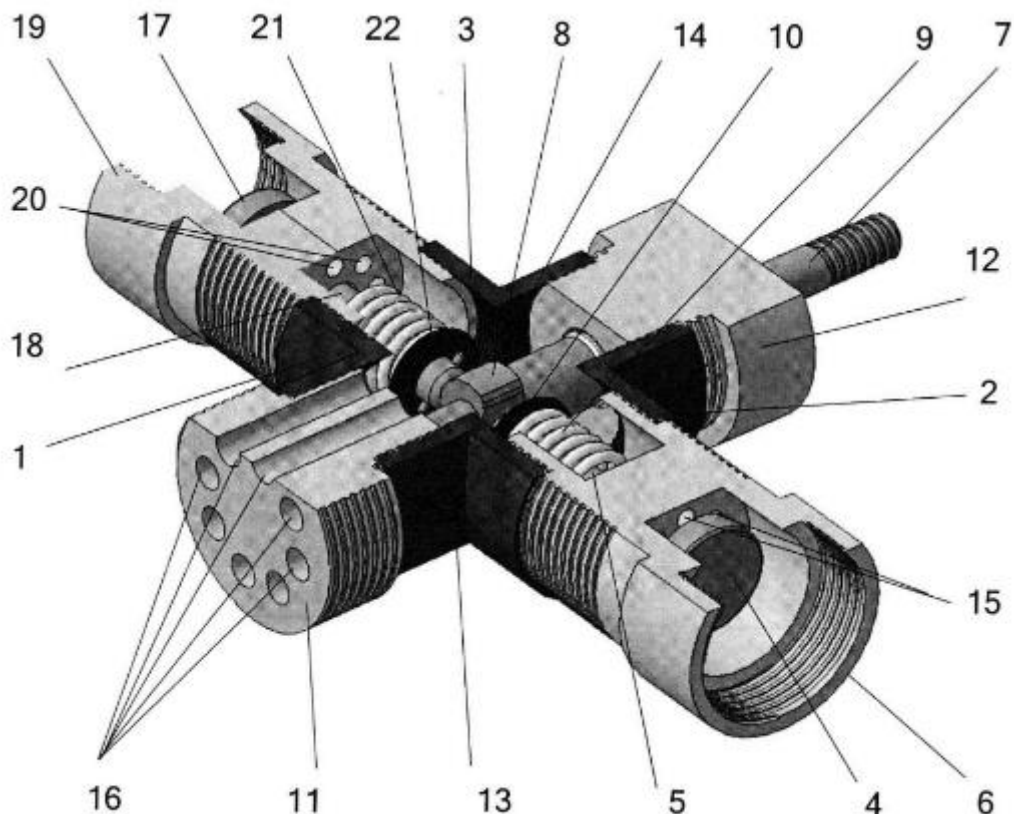
					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		20

системах водоснабжения согласно принципу работы гидравлического тарана эти импульсы рабочей среды используются для обеспечения водой потребителей

В системах водоснабжения на основе гидравлического тарана, в случае высоких скоростей движения рабочей среды и малых длин питательных труб, посредством которых обеспечивается ее подача к пульсатору потока, целесообразно использовать тарельчатые клапаны. При ограниченном запасе расхода рабочей среды, особенно оправданно их применение, потому что тарельчатая конструкция имеет повышенное гидравлическое сопротивление и в следствии этого, обеспечивает мгновенное срабатывание ударного узла. Для обеспечения работоспособности гидравлического контура на основе гидравлического тарана с открытым водным бассейном достаточно однопоточного исполнения ударного узла. В системах, не имеющих открытого бассейна, предпочтительно и использование ударных узлов. Анализ работ и патентов показал наличие множества разработанных конструкций ударных узлов. В случае подачи воды в ударный узел из открытого бассейна ее конструкция проста и не имеет привода. При использовании ударного узла в закрытых системах (теплоснабжение, водоснабжение) непременно нужно использовать ударный узел с приводом.[10]

Ударный узел (рисунок 1.8) предназначен для создания импульсного режима движения жидкости. Гидравлический удар в системе теплоснабжения может быть использован для создания импульсного движения жидкости. По мнению автора [9] технический результат достигается за счет того, что ударный узел содержит полый корпус с входным и выходным отверстиями для потока рабочей среды, ударный клапан закреплен на штоке, установленный во втулке с возможностью возвратно-поступательного движения. В полый крышке выполнены еще два соосных отверстия, корпус выполнен со сквозными каналами для протекания рабочей среды вдоль стержня. Кроме того, конструкция включает в себя распределительный вал с кулачком, пружину, стопорное кольцо, центрирующую заглушку и направляющую втулку.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		21



1 - полый корпус , 2- входное отверстие , 3 - выходное отверстие , 4 (17) - ударный клапан, 5 (18) - шток , 6 (19) - втулку, 7 - вал , 8 - кулачок, 9 (21) - пружина, 10 (22) - стопорное кольцо, 11 - центрирующую заглушка, 12 - направляющая втулка, 13 (14) - соосное отверстие, 15 (20) - сквозной канал, 16 - сквозная прорезь.

Рисунок 1.8 - Ударный узел

Со входом в полый корпус, плотно соединена втулка. Ударный клапан расположен со стороны подачи рабочей среды в сквозные каналы втулки. Пружина устроена на штоке и крепится к нему с помощью стопорного кольца на выходной стороне рабочей среды из сквозных каналов втулки. Вал установлен внутри полого корпуса с возможностью вращательного движения, где один конец вала вставляется в центрирующую пробку, закрепленную в первом

						МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата			22

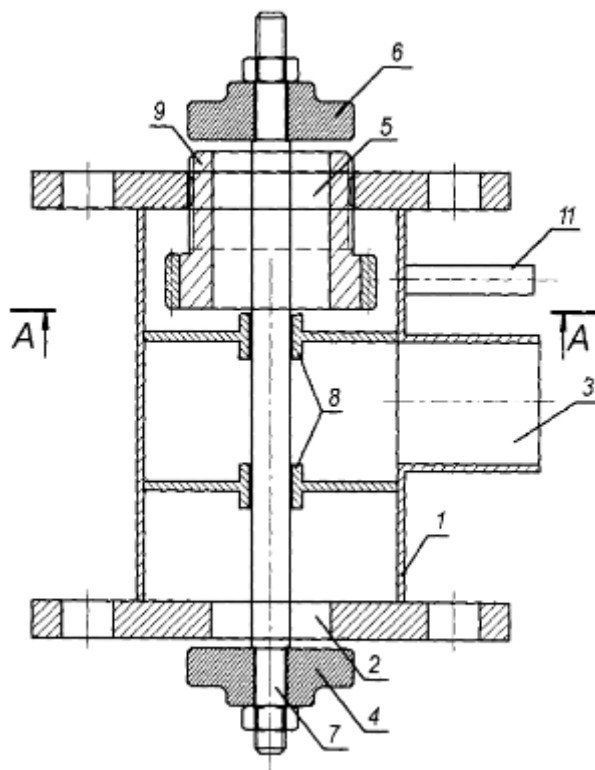
дополнительном отверстии полого корпуса, второй конец вала выводится из полого корпуса через направляющую втулку, установленный во втором дополнительном сквозном отверстии полого корпуса. Кулачок вала крепится к штоку с возможностью преобразования вращательного-скользящего движения в возвратно-поступательное движение штока.

В результате использования данной конструкции повышается устойчивость ударного узла, так как фаза открытия и закрытия ударного клапана определяется только положением кулачка, при вращении вала и не зависит от расхода рабочей среды, появляется возможность регулировать частоту импульсов и величину перемещения ударного клапана, независимо от ее расхода через устройство. Автором представлена конструкция ударного узла с возможностью управления частотой генерации импульсов и величиной перемещения рабочей среды независимо от его расхода через технические устройства.

Практически во всех случаях использования ударного узла необходимо стремиться к максимальному снижению веса ударного клапана, приводимого в действие рабочей средой, и увеличению рабочего зазора, что может быть достигнуто путем применения современных материалов, таких как полиамида (капролона). В то же время механические потери на трение, чтобы обеспечить максимальную эффективность работы оборудования, должны быть сведены к минимуму, что может быть реализовано путем обеспечения хода ударного клапана, подвешенного на конической пружине или диафрагме.

Ударный узел, содержит цилиндрический корпус с входным и выходным отверстиями, а также ударный клапан, отличающийся тем, что дополнительно содержит второе входное отверстие, над которым расположен второй ударный клапан, входные отверстия выполнены соосно вдоль центрирующего штока, установленного в цилиндрическом корпусе на втулках с жестко закрепленными на его торцах ударными клапанами, при этом во второе входное отверстие ввернуто подвижное седло, связанное червячной передачей с регулировочным винтом.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		23



1 - цилиндрический корпус, 2 (5) - входное отверстие, 3 - выходное отверстие, 4 (6)- ударный клапан, 7 - шток, 8 - втулка, 9 - седло, 10 - передача, 11 - регулировочный винт

Рисунок 1.9 - Ударный узел

Ударный узел (рисунок 1.9) содержит цилиндрический корпус 1 с входным 2 и выходным 3 отверстиями, а также ударный клапан 4. Над вторым входным отверстием 5 расположен второй ударный клапан 6. Входные отверстия 2 и 5 выполнены соосно вдоль центрирующего штока 7, установленного в цилиндрическом корпусе 1 на втулках 8 с жестко закрепленными на его торцах ударными клапанами 4 и 6. Во второе входное отверстие 5 ввернуто подвижное седло 9, связанное червячной передачей 10 с регулировочным винтом 11

Технический результат достигается тем, что ударный узел содержит цилиндрический корпус с входным и выходным отверстиями, ударный клапан и дополнительно второе входное отверстие, над которым расположен второй ударный клапан. Входные отверстия выполнены соосно вдоль центрирующего штока, установленного в цилиндрическом корпусе на втулках с жестко

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		24

закрепленными на его торцах ударными клапанами. Во второе входное отверстие ввернуто подвижное седло, связанное червячной передачей с регулировочным винтом.

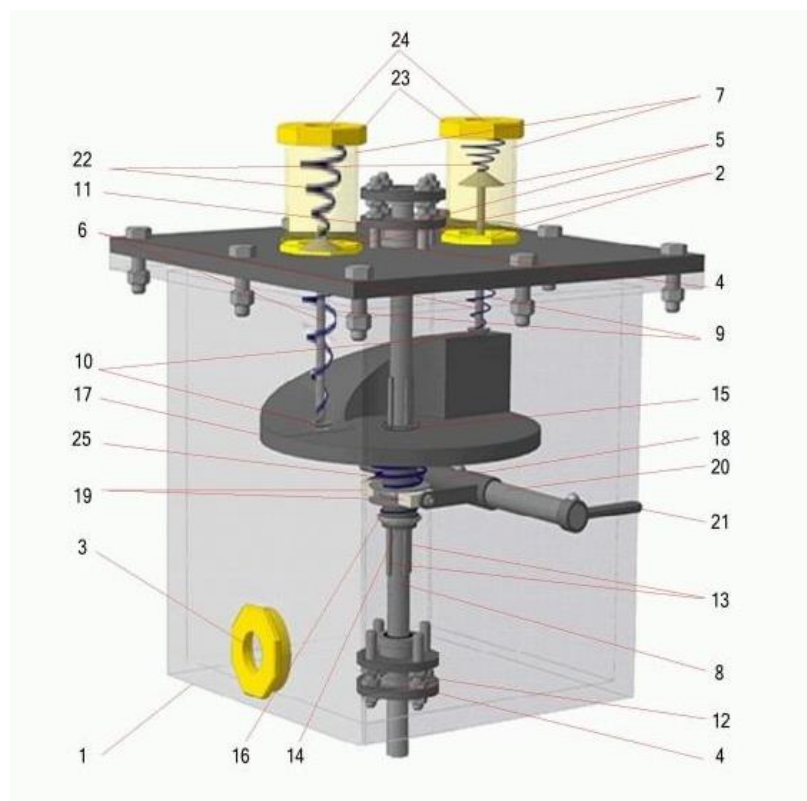
По мнению автора, данное устройство, позволяет повысить КПД, за счет регулирования частоты и амплитуды хода ударных клапанов, а также получения гидравлических ударов различной величины.

Ударный узел позволяет генерировать импульсы количества движения рабочей среды на заданной частоте при обеспечении возможности плавного регулирования расхода этой среды и амплитуды повышения давления сопутствующих гидравлических ударов без остановки устройства, стабилизировать расход рабочей среды через устройство. Изобретение направлено на обеспечение повышения эффективности работы ударного узла за счет обеспечения эргономичной возможности регулирования расхода рабочей среды через устройство без его остановки, с помощью изменения частоты и амплитуды хода ударных клапанов.[3]

Ударный узел (рисунок 1.10) включает в себя полый корпус 1 с двумя входными 2 и одним выходным 3 отверстиями для истечения рабочей среды и двумя соосными технологическими отверстиями 4, два ударных клапана 5, два штока 6, две втулки 7, вал 8, две пружины 9, два стопорных кольца 10, центрирующую заглушку 11 и направляющую втулку 12. Каждый шток 6 установлен в соответствующую втулку 7 с возможностью возвратно-поступательного движения. На каждом из штоков 6 с одной стороны жестко закреплен ударный клапан 5, а с другой установлено стопорное кольцо 10. На каждый шток 6 между втулкой 7 и стопорным кольцом 10 установлена пружина 9. Втулки 7 со стороны стопорных колец 10, жестко соединены с входными отверстиями 2 полого корпуса 1 с возможностью истечения рабочей среды вдоль установленных в них штоков 6 при открытом положении ударных клапанов 5. Вал 8 установлен внутри полого корпуса 1 с возможностью вращательного движения, где один торец вала вставлен в центрирующую заглушку 11, закрепленную в первом технологическом отверстии 4 полого корпуса 1, а второй торец вала 8 выведен за пределы полого корпуса 1 через направляющую втулку 12,

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		25

установленную в его втором технологическом отверстии 4.



1 - корпус; 2 - входное отверстие; 3 - выходное отверстие 4 - соосное отверстие; 5 - ударный клапан; 6 - шток; 7 - втулка; 8 - вал; 9 - пружина; 10 - стопорное кольцо; 11 - центрирующая заглушка; 12 - направляющая втулка

Рисунок 1.10 - Ударный узел

Втулки 7 установлены в полом корпусе 1 со стороны центрирующей заглушки 11, причем штоки 6, установленные в них, расположены параллельно оси вращения вала 8. Вал 8 внутри полого корпуса 1 выполнен со шлицами 13. Ударный узел дополнительно содержит ступицу 14 с внутренними шлицами 15 и наружной кольцевой проточкой 16, храповик 17, U-образную вилку 18 с двумя поворотными губками 19, стержень 20 с рукояткой 21, две дополнительные пружины 22, две стопорные крышки 23 со сквозными отверстиями 24 для истечения рабочей среды и демпферно-приводную пружину 25. Стопорные крышки 23 со сквозными отверстиями 24 для истечения рабочей среды

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		26

установлены на каждую втулку 7 со стороны расположенных в них ударных клапанов 5. Дополнительные пружины 22 установлены в каждую втулку 6 между ударным клапаном 5 и стопорной крышкой 23. Ступица 14 внутренними шлицами 15 установлена на шлицы 13 вала 8 с возможностью возвратно-поступательного перемещения, при этом ее наружная кольцевая проточка 16 ориентирована к направляющей втулке 12 во втором технологическом отверстии 4 полого корпуса 1. Храповик 17 закреплен на ступице 14 с возможностью возвратно-поступательного и возвратно-вращательного движения, при этом его криволинейно-ступенчатая поверхность соединена скользящим контактом с торцами штоков 6 со стороны установки на них стопорных колец 10. Демпферно-приводная пружина 25 установлена на ступицу 14 между наружной кольцевой проточкой 16 и храповиком 17 и концами жестко закреплена с ними с возможностью преобразования вращательного движения вала 8 в возвратно-поступательное движение штоков 6 и жестко связанных с ними ударных клапанов 5 во втулках 7 относительно полого корпуса. Стержень 20 установлен в полом корпусе 1 перпендикулярно валу 8 с возможностью возвратно-вращательного движения, при этом торец стержня 20 с установленной на нем рукояткой 21 выведен на внешнюю сторону полого корпуса 1. U-образная вилка 18 жестко закреплена на стержне 20 внутри полого корпуса 1, а ее две поворотные губки 19 установлены в наружную кольцевую проточку 16 ступицы 14 с возможностью скольжения в ней и возвратно-поступательно перемещения в плоскости, перпендикулярной оси вращения вала 8.

Регулирование частоты генерации гидравлических ударов может быть обеспечено:

- за счет изменения частоты вращения вала 8 от внешнего приводного устройства непосредственно при работе устройства;
- путем конструктивного изменения формы храповика 17 с полным разбором устройства.

Регулирование фазы перекрытия ударных клапанов 5 (при необходимости) может осуществляться только на стадии конструирования и последующей сборки ударного узла:

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		27

- путем применения соответствующей формы криволинейно-ступенчатой поверхности храповика 17, контактирующей с торцами штоков 6 со стороны установки на них стопорных колец 10;

- за счет выбора требуемой жесткости демпферно-приводной пружины 25, которая обеспечивает возможность перемещения храповика 17 относительно ступицы 14 в возвратно-поступательном и возвратно-вращательном направлениях и дополнительно реализует автоподстройку момента открытия ударных клапанов 5 согласно наименьшему гидравлическому сопротивлению во втулках 7, наблюдаемому при отрицательных волнах генерируемых гидравлических ударов.

Заявленный ударный узел позволяет генерировать импульсы количества движения рабочей среды на заданной частоте при обеспечении возможности плавного регулирования расхода этой среды и амплитуды повышения давления сопутствующих гидравлических ударов без остановки устройства, стабилизировать расход рабочей среды через устройство путем изменения частоты и амплитуды хода ударных клапанов без разбора устройства.

По сравнению с известным решением, предложенное устройство позволяет повысить КПД работы ударного узла за счет обеспечения эргономичной возможности регулирования расхода рабочей среды через устройство без его остановки путем изменения частоты и амплитуды хода ударных клапанов.

Обзор и анализ литературных источников в области гидравлических узлов показал, что существуют разные виды и методы ударных узлов работающих в импульсном режиме.

Нами предложено энергоэффективное устройство, позволяющее использовать часть энергии потока жидкости, циркулирующей в импульсном режиме. Для его исследования была составлена схема, определены конструктивные параметры всех её элементов, произведена сборка и наладка режимов. Основой макетного образца установки для создания импульса в ИТП является ударный узел возвратно- опозиционного типа.

Таким образом, целью данного исследования является определение степени повышения эффективности использования ударного узла для подпитки теплоносителя на входе в здание с помощью пульсации потока.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		28

2 Теоретические предпосылки

2.1 Анализ условий (требований)

Так же настоящее время сложные задачи, связанные с проектированием и эксплуатацией тепло- и электроустановок, решаются с использованием математических методов (особенно математического моделирования) и электронных вычислительных машин.

Моделирование - это исследование, какого-либо объекта или системы объектов путем построения и изучения их моделей. Так же процесс моделирования позволяет использовать модели для определения или уточнения характеристик и рациональных способов построения вновь конструируемых объектов.

Качество решения задач комплексной модернизации тепло и электроэнергетики во многом зависит от математических моделей объектов проектирования. В общем случае к математическим моделям предъявляются следующие требования: информационная полнота, высокая степень формализации отображаемого объекта, наличие математического аппарата, позволяющего выполнить формальные преобразования над моделью, возможность использования модели в разрабатываемых алгоритмах, наглядность представления объекта, адекватность модели объекту проектирования.[2]

Существенный шаг вперед сделала наука в сфере машин связанных с моделированием технических процессов. От расчетных статистических моделей машин с идеализированными условиями работы конструкторы переходят к рассмотрению динамических моделей с учетом реальных условий функционирования. В практике исследователя и конструктора все шире начинают использоваться методы математического моделирования и соответствующая вычислительная техника для прогнозирования показателей и оптимизации параметров машин. Эти современные достижения науки становятся прочной

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		29

базой для совершенствования, создания, проектирования и предконструктивного прогнозирования показателей работы будущего технического оборудования[2].

В настоящее время немаловажное значение приобретает проблема предконструктивного прогнозирования поведения машины или оборудования в предполагаемой технологической компоновке и конкретных условиях эксплуатации. Поэтому интенсификация тепло- и электроэнергетического производства требует быстрого обновления моделей оборудования согласно требованиям энергетического производства и уровню развития технологического прогресса. В связи с этим разработка вопросов теории прогнозирования поведения машин и технологического оборудования в динамике играет существенную роль.

Подводя итог можно сделать вывод, что любой метод научного исследования базируется на идеи моделирования. В тоже время в теоретических методах используются различного рода знаковые, абстрактные модели, в экспериментальных - предметные модели. При изучении сложного реального явления, его заменяют упрощенной копией или схемой, иногда такая копия служит лишь для того, что бы при следующей встрече узнать нужное явление. Иногда построенная схема, отражает некоторые существенные черты, чтобы понять в механизме явления, дает возможность предсказать его изменение. Различные модели могут соответствовать одному и тому же явлению. Задача исследования состоит в том, чтобы предсказать характер этого явления или ход процесса.

2.2 Разработка устройства

В механических динамических системах, находящихся во вращательном или поступательном движении, несколько сложно рассматривать массу наделенную свойствами упругости, или упругость, наделенную свойствами массы. Поэтому в теории принимается гипотеза, согласно которой механическая

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		30

динамическая система упрощается, и в ней рассматриваются идеализированные сосредоточенные элементы. Под сосредоточенным элементом понимают абстрагированный предел реальной системы при бесконечном уменьшении влияния остальных ее свойств.

Гидравлические процессы в контуре с ударным узлом рассматриваются с помощью теории цепей. Происходящие процессы в данном контуре гидравлической сети, можно представить в виде энергетической цепи, состоящей из двух отдельных звеньев и функционирующих как единое целое. Энергетическая цепь представлена на рисунке 2.1

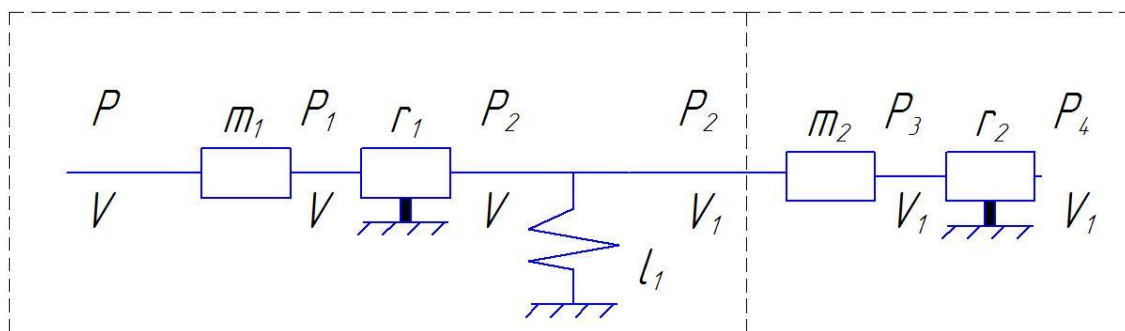


Рисунок 2.1 - Энергетическая цепь из двух звеньев

Масса в поступательном движении (m) - элемент механической динамической системы, препятствующий изменению скорости движения и накапливающий кинетическую энергию движения. При поступательном движении кинетическая энергия массы увеличивается по мере возрастания ее линейной скорости. Масса как элемент механической цепи является постоянной величиной.

Упругость в поступательном и вращательном движении - элемент механической системы с постоянной жёсткостью c , способный накапливать или отдавать механическую энергию. Ее целесообразно характеризовать обратной ей величиной - податливостью l .

За величину активного сопротивления цепи при поступательном движении принимаются отношение:

$$r = \frac{f(t)}{\dot{x}(t)}$$

Т.е. считается, что величина активного сопротивления обратно пропорциональна первой степени скорости и не зависит от кулонового трения и трения, пропорционального иной степени скорости. Для некоторых динамических систем величина r может быть постоянной или же близкой к постоянной величине в некотором диапазоне изменения скорости.

2.3 Разработка математической модели устройства

Инерционная составляющая цепи, характеризуется трубопроводом с податливостью материала и трубопровода l , массой жидкости в каналах m_1 , активным сопротивлением r_1 , трубопроводом с массой рабочей жидкости m_2 . Для данной схемы, состоящей из двух звеньев, составим энергетическую цепь, которая включает:

1-е звено - гидравлическое, включает активное сопротивление r_1 , ($\text{Па} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6$), учитывающее потери давления в питательной трубе и массу рабочей жидкости в трубе m_1 , кг, а так же податливость l_1 , ($\text{м}/\text{Па} \cdot \text{ч}$), характеризующую упругие свойства жидкости и питательной трубы;

2-е звено - гидравлическое, представлено активным сопротивлением r_2 , ($\text{Па} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6$), характеризующим потери давления в ударном узле.

Для схемы на рисунок 2.1 состоящей из двух звеньев составим системы уравнений:

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		32

$$\begin{cases} p = m_1 \cdot \dot{v} + r_1 \cdot v^2 + p_2 \\ v = l \cdot \dot{p}_2 + v_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} p_2 = m_2 \cdot \dot{v}_1 + r_2 \cdot v_1^2 + p_4 \\ v_1 = v_1 \end{cases}$$

Уравнение звена цепи:

$$\begin{cases} p = m_1 \dot{V} + r_1 V^2 + m_2 \dot{V}_1 + r_2 V_1^2 + p_4 \\ V = l_1 \cdot \dot{p}_2 + V_1 \end{cases} \quad (2.1)$$

Скорость и давление теплоносителя запишем в виде постоянной составляющей и отклонения, т.е $V_1 = V_{10} + \bar{V}_1$, $p_1 = p_{10} + \bar{p}_1$.

Представляется V_1^2 в виде $V_1^2 = (V_{10} + \bar{V}_1)^2 \approx V_{10}^2 + 2V_{10}\bar{V}_1$ и выразим давление p на входе цепи через p_4 и V_2 определим промежуточное давление после податливости l_1 :

$$p_2 = m_2 \dot{\bar{V}}_1 + r_2 V_1^2 + p_4 = m_2 \dot{\bar{V}}_1 + r_2 V_{10}^2 + 2r_2 V_{10} \bar{V}_1 + p_{40} + \bar{p}_4$$

Производная p :

$$\dot{p}_2 = m_2 \ddot{\bar{V}}_1 + 2r_2 V_{10} \dot{\bar{V}}_1 + \dot{\bar{p}}_4$$

Уравнение на V :

$$V = V_0 + \bar{V} = l_1 m_2 \ddot{\bar{V}}_1 + 2l_1 r_2 v_{10} \dot{\bar{V}}_1 + l_1 \dot{\bar{p}}_4 + V_{10} + \bar{V}_1$$

Уравнение на приращение:

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		33

$$\bar{V} = l_1 m_2 \ddot{V}_1 + 2l_1 r_2 v_{10} \dot{V}_1 + l_1 \dot{p}_4 + \bar{V}_1,$$

$$V^2 = (V_0 + \bar{V})^2 \approx V_0^2 + 2V_0 \bar{V}$$

Учитывается, что:

$$V_0^2 = V_{10}^2$$

$$\begin{aligned} V^2 &= V_{10}^2 + 2V_{10} (l_1 m_2 \ddot{V}_1 + 2l_1 r_2 V_{10} \dot{V}_1 + l_1 \dot{p}_4 + \bar{V}_1) = \\ &= V_{10}^2 + 2V_{10} l_1 m_2 \ddot{V}_1 + 4V_{10}^2 l_1 r_2 \dot{V}_1 + 2V_{10} l_1 \dot{p}_4 + 2V_{10} \bar{V}_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p &= m_1 l_1 m_2 \ddot{V}_1 + 2m_1 l_1 r_2 V_{10} \ddot{V}_1 + m_1 l_1 \ddot{p}_4 + m_1 \dot{V}_1 + r_1 V_{10}^2 + 2r_1 l_1 m_2 V_{10} \ddot{V}_1 + 4r_1 l_1 r_2 V_{10}^2 \dot{V}_1 + \\ &+ 2r_1 l_1 V_{10} \dot{p}_4 + 2r_1 V_{10} \dot{V}_1 + 4r_1 V_{10}^2 \bar{V}_1 + m_2 \bar{V}_1 + r_2 V_{10}^2 + 2r_2 V_{10} \bar{V}_1 + p_{40} + \bar{p}_4 \end{aligned}$$

Преобразовывается:

$$\begin{aligned} p &= m_1 l_1 m_2 \ddot{V}_1 + (2m_1 l_1 r_2 V_{10} + 2r_1 l_1 m_2 V_{10}) \ddot{V}_1 + (m_1 + 4r_1 l_1 r_2 V_{10}^2 + m_2 + 2r_1 V_{10}) \dot{V}_1 + \\ &+ (4r_1 V_{10}^2 + 2r_2 V_{10}) \bar{V}_1 + (r_1 V_{10}^2 + r_2 V_{10}^2) + m_1 l_1 \ddot{p}_4 + 2r_1 l_1 V_{10} \dot{p}_4 + \bar{p}_4 + p_{40} \end{aligned}$$

Вводятся коэффициенты новые коэффициенты a_1 , a_2 и т.д:

$$a_1 = m_1 l_1 m_2$$

$$a_2 = 2m_1 l_1 r_2 V_{10} + 2r_1 l_1 m_2 V_{10}$$

$$a_3 = m_1 + 4r_1 l_1 r_2 V_{10}^2 + m_2 + 2r_1 V_{10}$$

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		34

$$a_4 = 4r_1V_{10}^2 + 2r_2V_{10}$$

$$a_5 = r_1V_{10}^2 + r_2V_{10}^2$$

$$b_1 = m_1l_1$$

$$b_2 = 2r_1l_1V_{10}$$

$$b_3 = 1$$

$$b_4 = p_{40}$$

Преобразовывается уравнение с учетом коэффициентов:

$$p = a_1\ddot{\ddot{V}}_1 + a_2\ddot{\dot{V}}_1 + a_3\dot{V}_1 + a_4\bar{V}_1 + a_5 + b_1\ddot{\ddot{p}}_4 + b_2\dot{\ddot{p}}_4 + b_3\bar{\ddot{p}}_4 + b_4$$

Применив преобразование Лапласа, получим:

$$(a_1\ddot{\ddot{V}}_1 + a_2\ddot{\dot{V}}_1 + a_3\dot{V}_1 + a_4\bar{V}_1 + a_5)V_1(s) = -(b_1\ddot{\ddot{p}}_4 + b_2\dot{\ddot{p}}_4 + b_3\bar{\ddot{p}}_4 + b_4)p_4(s)$$

Составляется уравнение на комплексное сопротивление цепи:

$$Z(s) = \frac{P_4(s)}{V_1(s)} = \frac{a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s + a_4 + 1}{-(b_1s^2 + b_2s + b_3 + 1)}$$

Преобразовывается уравнение с учетом, того что $s = j\Omega$, где: j - мнимая единица; Ω - круговая частота. Частотная функция цепи:

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		35

$$\begin{aligned}
Z(j\Omega) &= \frac{P_4(j\Omega)}{V_1(j\Omega)} = \frac{-a_1 j\Omega^3 + a_2 j\Omega^2 + a_3 j\Omega + a_4 + 1}{b_1 j\Omega^2 - b_2 j\Omega - b_3 - 1} = \\
&= \frac{(-a_1 j\Omega^3 - a_2 \Omega^2 + a_3 j\Omega + a_4 + 1)((b_1 \Omega^2 - b_3 - 1) + (b_2 j\Omega))}{(b_1 \Omega^2 - b_3 - 1)^2 - (b_2 j\Omega)^2} = \\
&= \frac{-a_1 b_1 j\Omega^5 - a_2 b_1 \Omega^4 + a_3 b_1 j\Omega^3 + a_4 b_1 \Omega^2 + b_1 \Omega^2 + a_1 b_3 j\Omega^3 + a_2 b_3 \Omega^2 - a_3 b_3 j\Omega - a_4 b_3 - b_3 + a_1 j\Omega^3}{(b_1 \Omega^2 - b_3 - 1)^2 + (b_2 \Omega)^2} + \\
&\quad + \frac{a_2 \Omega^2 - a_3 j\Omega - a_4 - 1 + a_1 b_2 \Omega^4 - a_2 b_2 j\Omega^3 + a_3 b_2 \Omega^2 + a_4 b_2 j\Omega + b_2 j\Omega}{(b_1 \Omega^2 - b_3 - 1)^2 + (b_2 \Omega)^2} = \\
&= \frac{(a_1 b_2 - a_2 b_1) \Omega^4 + (a_2 + a_3 b_2 + a_2 b_3 + b_1 + a_4 b_1) \Omega^2 - a_4 - 1 - a_4 b_3 - b_3}{(b_1 \Omega^2 - b_3 - 1)^2 + (b_2 \Omega)^2} + \\
&\quad + j \frac{-a_1 b_2 \Omega^5 + (a_3 b_1 + a_1 b_3 - a_2 b_2 + a_1) \Omega^3 + (a_4 b_2 - a_3 b_3 - a_3 + b_2) \Omega}{(b_1 \Omega^2 - b_3 - 1)^2 + (b_2 \Omega)^2}
\end{aligned}$$

Действительная и мнимая части частотной функции соответственно (разделяются действительная и мнимая часть: без j и с j):

$$U(\Omega) = \frac{(a_1 b_2 - a_2 b_1) \Omega^4 + (a_2 + a_3 b_2 + a_2 b_3 + b_1 + a_4 b_1) \Omega^2 - a_4 - 1 - a_4 b_3 - b_3}{(b_1 \Omega^2 - b_3 - 1)^2 + (b_2 \Omega)^2}, \quad (2.2)$$

$$V(\Omega) = \frac{-a_1 b_2 \Omega^5 + (a_3 b_1 + a_1 b_3 - a_2 b_2 + a_1) \Omega^3 + (a_4 b_2 - a_3 b_3 - a_3 + b_2) \Omega}{(b_1 \Omega^2 - b_3 - 1)^2 + (b_2 \Omega)^2}. \quad (2.3)$$

2.4 Результаты математического моделирования

Далее с помощью с помощью программного комплекса Microsoft Excel находится значения коэффициентов, амплитудно-частотную характеристики цепи.

Амплитудно - частотная характеристика цепи:

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

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		36

Принимаются несколько исходных параметров энергетического контура, которые будут использоваться для моделирования. Входные параметры представлены в таблице 2.1. Все рассчитанные значения приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.1 - Исходные данные цепи:

m1	m2	r1	r2	L1	V	P
2,45	2,45	16,5	33,3	0,06	0,00055	360
4,15	4,15	32,5	66,6	0,12	0,00085	400
8,35	8,35	55,15	90,7	0,15	0,001	470
15,75	15,75	78,65	120,5	0,25	0,0015	585
18,14	18,14	100,28	160,55	0,38	0,0025	640
22,68	22,62	140,64	190,1	0,49	0,0035	755
28,17	22,17	170,17	220,12	0,71	0,0048	820
33,55	33,55	200,5	250,5	0,8	0,0059	910
45	45	230	280	0,9	0,007	950

Таблица 2.2 - Полученные данные

Ω	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
A(Ω)	0,556	0,002575545	0,455041479	31,6153768	1,948800268	360,9996531	216,00039
A(Ω)	0,6	0,002492	0,550876	32,06044	1,904002	360,9988	215,9997
A(Ω)	0,74	0,00125576	0,4415824	63,9514948	1,78402262	660,994458	395,99565
A(Ω)	0,875	0,000871	0,7602760	123,7392	1,328312	850,982	509,9848
A(Ω)	0,993	0,000849907	1,023286563	158,451721	1,041150066	850,9694367	509,97396
A(Ω)	1,076	0,000817	1,081173	166,7254	0,977696	850,9641	509,9693
A(Ω)	1,13	0,00075388	1,42896431	225,928815	0,56556588	870,950724	521,95762
A(Ω)	1,32	0,000741	1,481572	240,5131	0,491122	880,9353	527,9442
A(Ω)	1,42	0,000587834	2,176333749	366,400339	0,386817905	900,9125021	539,92391

По полученным результатам строится график амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) цепи. График представлен на рисунке 2.2. номера графиков соответствуют значениям в таблице 2.1.

Исходя из полученных графиков АЧХ можно сделать вывод, что рассматриваемая система имеет два максимума, при частотах 0,3 рад/с и 0,5 рад/с, и минимумы на частотах 0,17 рад/с и 0,37 рад/с. Отсюда следует, что наибольшей пропускной способностью будет обладать система при частотах 0,17 рад/с и 0,37 рад/с. А для максимальной производительности мембранного насоса, в данной схеме он обозначен как элемент податливости, подходят частоты 0,3 рад/с и 0,5 рад/с.

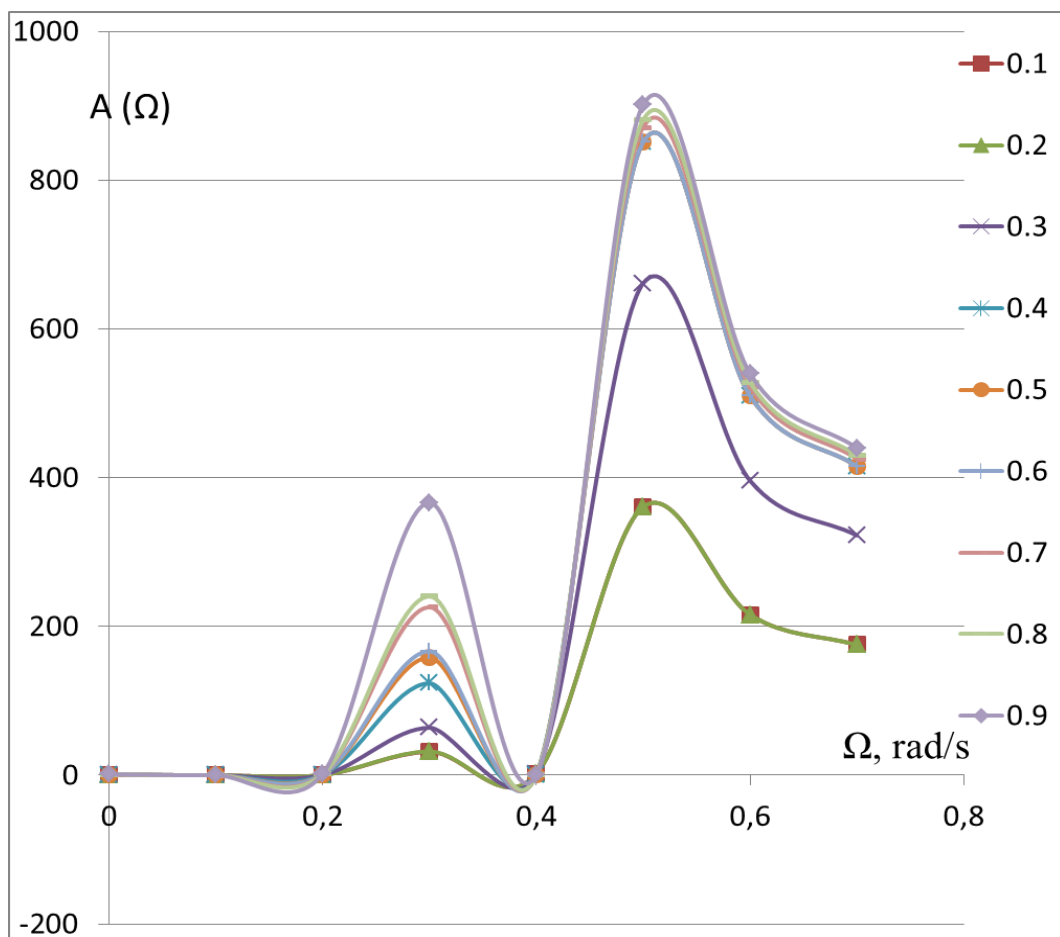


Рисунок 2.2 - Амплитудно - частотная характеристика

3 Экспериментальная установка

Для решения поставленных задач была разработана и смонтирована экспериментальная установка. Она предназначена для проведения данного эксперимента и последующего изучения производительности гидравлического тарана в закрытой гидравлической системе. Процесс разработки функциональной схемы установки и выбор средств измерений подробно представлены в последующих подразделах магистерской диссертации.

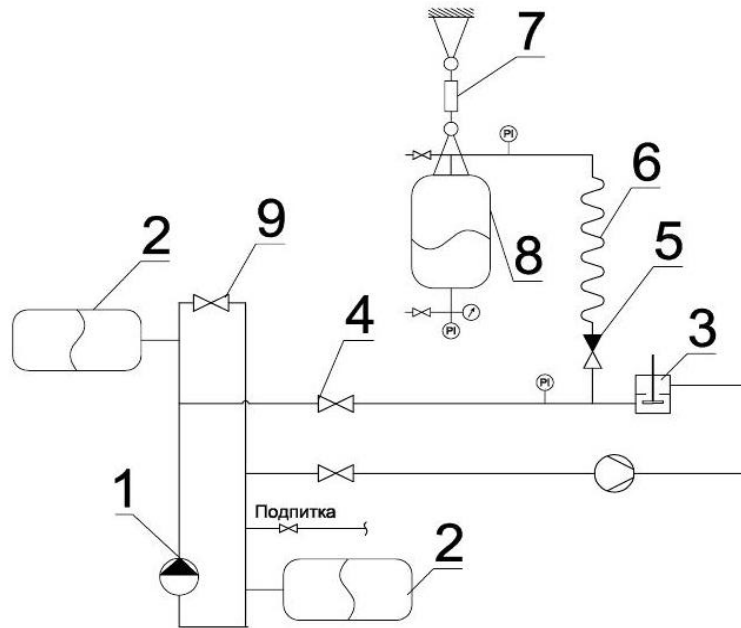
3.1 Разработка схемы экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки показана на рисунке 3.1. Циркуляция теплоносителя в системе осуществляется за счёт насоса 1 с частотным приводом, при этом часть расхода теплоносителя направляется через байпасный вентиль 9, что позволяет обеспечивать более медленное повышение давления в напорном трубопроводе насоса во время закрытия ударного клапана 3. Поток теплоносителя через ударный клапан 3, регулировался с помощью вентиля 4. Гидроаккумулятор 8 подключен к трубопроводу через обратный клапан 5 через гибкого резинового рукава 6 (внутренний диаметр 20 мм, длина 1,2 м). В работе применялся ударный клапан с приводом. Использование конструкции генератора пульсаций на основе ударных клапанов с приводом, дает явные преимущества по сравнению с теми конструкциями, где закрытие клапанов осуществляется за счет сил, действующих со стороны потока жидкости на клапан.

На основании показаний расходомера выставлялся необходимый расход через ударный клапан 3. ударный клапан 3 был слегка закрыт, в результате изменения гидравлических характеристик сети давление в напорной трубе возросло и аккумулятор 8 перекачивал жидкость до тех пор, пока давление в

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		39

гидроаккумуляторе 8 не стало соответствовать давлению в напорном трубопроводе.



1 - циркуляционный насос; 2 - гидроаккумулятор; 3 - ударный клапан; 4, 9 - регулирующие вентили; 5 - обратный клапан; 6 - гибкий рукав; 7 - электронные весы; 8 - гидроаккумулятор с датчиками давления.

Рисунок 3.1 - Принципиальная схема экспериментальной установки

О чем свидетельствует установившееся показание весов 7. Эта процедура необходима для того, чтобы вода закачивалась в аккумулятор только из-за гидроудара, возникающего при резком закрытии ударного клапана 3. После этого ударный клапан 3 открывался, и как только расход в системе устанавливался, резко закрывали ударный клапан. В следствии внезапного замедления потока жидкости происходит скачок давления. Под влиянием данного повышения давления часть жидкости выдавливается через обратный клапан 5 в гидроаккумулятор 8. В результате с каждым закрытием ударного клапана 3 жидкость закачивание жидкости в гидроаккумулятор 8 и вес его увеличивается. Вес гидроаккумулятора 8 с водой первоначально регистрировался после каждого закрытия ударного клапана.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		40

3.2 Ударный узел

Генератор гидравлического удара предназначен для автоматической генерации серий гидравлических ударов при подаче через него теплоносителя. Устройство позволяет осуществлять импульсное движение теплоносителя с частотой от 1 до 5 Гц.

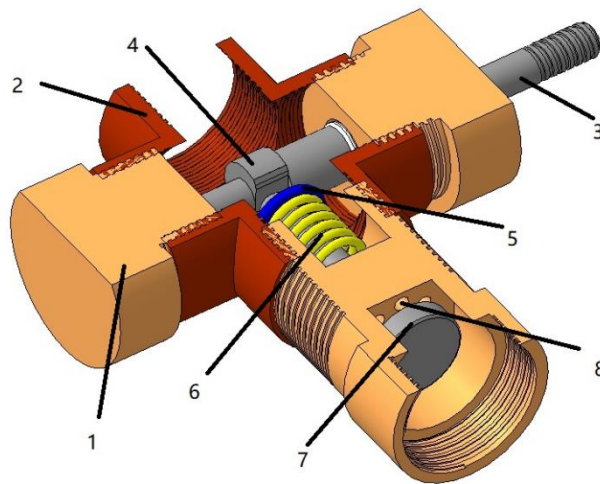
Основным силовым элементом генератора гидравлического удара является ударный клапан, который в зависимости от скорости движения потока теплоносителя, позволяет получать периодический гидравлический удар с различной частотой и амплитудой. Ударный узел относится к трубопроводной арматуре и может быть использовано для создания импульсного режима течения жидкости.

Организация импульсного режима производится при помощи оппозитного ударного узла. Конструкция ударного узла состоит из полого корпуса с входным и выходным отверстиями для истечения рабочей среды в виде крестовины, поршня(штока) с ударным клапаном, жёсткой пружины, стопорного кольца, шплинта, центрирующей и сквозной заглушки, направляющей втулки с шестью проходными каналами. Внешний вид ударного узла в сборочном виде представлен на рисунке 3.2

Еще одним важным компонентом экспериментальной системы является генератор пульсаций, как показано на рисунке

Кулачок 4 закреплен на вращающемся валу 3 и совершает круговое движение с вращением вращающегося вала, причем вращающийся вал вращается один раз, то есть один цикл, корпус 2 и пробка 1 собраны, а отверстие для воды равномерно расположено на поперечном сечении пробки на выходе воды. 8. Подвижный клапан находится в контакте с кулачком 4, закрепленным на кантователе 3 через пробку, а пружина 6 обернута вокруг подвижного клапана, причем пружина 6 соединена со штекером 1, и кулачок будет совершать движение во время вращения кулачка. Клапан 7 выбрасывается, и весь генератор пульсаций находится в открытом состоянии.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		41



1 - заглушка; 2 - втулка; 3- вал; 4 - кулачок; 5 - стопорное кольцо; 6 - пружина; 7 - подвижный клапан; 8 - отверстие для воды

Рисунок 3.2 - Ударный клапан

Когда кулачок повернут на 180°, подвижный клапан 7 вернется в исходное положение под действием упругой силы пружины и закроет отверстие для выхода воды 8 на пробке. В это время весь генератор пульсаций находится в закрытом состоянии, и при вращении вращающегося вала 3 генератор пульсаций периодически открывается и закрывается, и при движении жидкости образуется пульсирующий поток.



Рисунок 3.3 - Макетный образец ударного клапана

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		42



Рисунок 3.4 - Мотор-редуктор

Генератор пульсаций соединен с приводным двигателем через фланец, а вал вращения генератора пульсаций закреплен стопорным болтом, и, наконец, скорость вращения вала вращения согласуется с выходной скоростью коробки передач. На рис. 3.5 частотный преобразователь приводного двигателя. Этот прибор очень важен в экспериментальной системе. Мы можем регулировать частоту приводного двигателя через него и контролировать скорость приводного двигателя, контролируя частоту.



Рисунок 3.5 - Частотный преобразователь приводного двигателя

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		43

3.3 Циркуляционный насос

Циркуляционным источником питания системы горячего водоснабжения является циркуляционный водяной насос системы горячего водоснабжения. На рис. 3.6 и 3.7 показаны циркуляционный насос горячей воды и контроллер циркуляционного насоса горячей воды соответственно. Регулируя регулятор циркуляции горячей воды для управления циркуляционным насосом системы горячего водоснабжения, мы будем использовать горячую воду. Частота работы циркуляционного насоса фиксируется на уровне 30 Гц, что стабилизирует объемный расход системы горячего водоснабжения на уровне 2,6 л/ч.



Рисунок 3.6 - Циркуляционный насос системы горячего водоснабжения



Рисунок 3.7- Частотный преобразователь циркуляционного насоса

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		44

Таблица 3.1. Техническая характеристика частотного преобразователя

Насос модель	A110 / 180XM
Питание	1X230 В, 50 Гц
Установленная длина	180мм
Подключение	2"
Мощность (1-2-3 скорости)	361-393-410 Вт
Расход мин-макс	0,6-12м3/ч
Напор мин-макс	1,7-11м

Для отображения показаний тензодатчика использовался весовой терминал представленный на рисунке 3.8. технические характеристики приведены в таблице 3.2.



Рисунок 3.8 - Весовой терминал KELI XK3118T1

Весовой терминал KELI XK3118T1 со стальным корпусом оснащен одночипным помехоустойчивым микропроцессором с использование высокоточной технологии преобразования А/Д. Он широко используется с электронными платформенными, напольными весами, и другими системами статического взвешивания, оснащенными 1~6 датчиками. Возможны оба варианта питания АС/DC.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		45

Таблица 3.2 - Технические характеристики весового терминала KELI XK3118T1

Класс точности	3
Метод А/D преобразования	20 bit
Входная чувствительность	1,5 uV/e
Цена деления	1/2/5/10/20/50
Адаптер	АС 110/220 В, 50~60 Гц
Рабочая температура	0~ +40 С
Влажность	85 %

К данным весам требуется наличие тензодатчика сильфонного типа (рисунок 3.9) который предназначен для установки в платформенные весы не большой грузоподъемности, упаковочные линии, гибридные системы взвешивания. Технические характеристики тензодатчика SHB-50kg-C3-25 приведены в таблице 3.3



Рисунок 3.9 - SHB-50kg-C3-25 тензодатчик из нержавеющей стали сильфонного типа

Таблица 3.3 - Технические характеристики тензодатчика SHB-50kg-C3-25

Номинальный вес	50
Класс точности	C3
Класс защиты	IP66/IP68
Материал корпуса	Нержавеющая сталь

Тензометрические датчики - это датчики, преобразующие в электрический сигнал, величину деформации конструкции. Тензодатчик представляет собой металлическую конструкцию, внутри которой размещены резисторы с

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		46

электрической схемой. Сам тензодатчик связан с корпусом весов механическим способом. Как только изменяется вес на дозаторе, корпус датчика деформируется и усилие передается на встроенные тензорезисторы. Они, в свою очередь, создают электрический сигнал и передают его на какой-либо измеритель (обычно это весовой терминал).

3.4 Гидроаккумулятор

Гидроаккумулятор (расширительный мембранный бак, гидробак) используется для поддержки стабильного давления в системе водоснабжения, предохраняет водяной насос от преждевременного износа из-за частого включения, предохраняет систему водоснабжения от возможных гидроударов, обеспечивает минимальным запасом воды. Более подробное описание основных функций гидроаккумулятора будут приведены ниже.

Благодаря запасу воды в мембранном баке гидроаккумулятора, осуществляется сохранение насоса от преждевременного износа. При открытии водопроводного крана, будет включаться насос только в том случае, если иссякнет запас воды в баке. Определенную норму включений в час, имеет любой насос, поэтому, благодаря гидроаккумулятору, появиться запас неиспользованных включений у насоса, за счёт чего и повысит срок его эксплуатации.

Гидробак предохраняет от перепадов напора воды и поддерживает постоянное давление в водопроводной. Из-за перепадов напора при одновременном включении нескольких источников воды происходят резкие колебания температуры. Гидроаккумулятор успешно справляется с такими ситуациями.

Расширительный мембранный бак так же предохраняет от гидроударов, которые могут возникать при включении насоса, и способны порядком подпортить трубопровод.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		47

Гидроаккумулятор поддерживает запасы воды в системе, что позволяет пользоваться водой даже во время отключения электричества или при прекращении подачи водоснабжения по техническим причинам, что в настоящее время происходит довольно часто.

Гидроаккумулятор устроен следующим образом. Герметичный корпус устройства делится специальной мембраной на две камеры, одна из них предназначена для воды, а другая - для воздуха.

В данном эксперименте используется гидроаккумулятор марки wester wav 24. Характеристики данного устройства представлены в таблице 3.4. Общий вид представлен на рисунке 3.10.



Рисунок 3.10 - Гидроаккумулятор Wester Wav 24

Таблица 3.4 - Характеристики гидроаккумулятора

Материал корпуса	Сталь
Материал мембраны	Резина EPDM
Вес, кг	4,25
Объём, л	24
Максимальное рабочее давление, бар	10
Диапазон рабочих температур, °С	-10...+ 100
Давление воздушной полости, бар	1,5
Диаметр штуцера	3/4
Габаритные размеры, мм:	
Высота	504
Диаметр	280

Для получения экспериментальных данных. В данной лабораторной установке были использованы следующие средства измерения.

Датчики ОВЕН ПД100-ДИ (рисунок 3.11) представляет собой преобразователи давления с измерительной мембраной из нержавеющей стали AISI 316L, сенсором на основе технологии КНК и кабельным вводом стандарта EN175301-803 (DIN43650 A).

Данные модели характеризуются повышенной точностью измерения, устойчивостью к гидроударам и относительно низким выходным шумом. Преобразователи данных моделей предназначены для систем автоматического регулирования и управления: гидро- и пневмосистемах, системах водоподготовки и теплоснабжения, котельной автоматике, автоматике водоканалов, тепловых пунктах, объектах газового хозяйства, где требуется повышенная точность и стабильность выходного сигнала.

Датчик давления фирмы ОВЕН ПД100-ДИ модели 1x1 технические характеристики приведены в таблице 3.5.

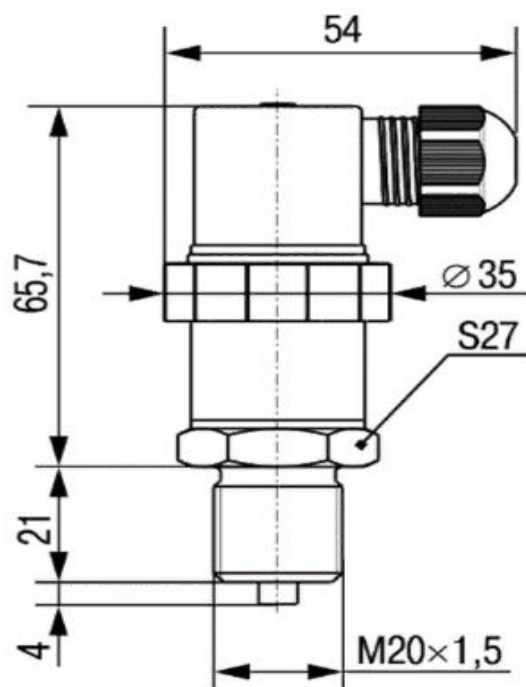


Рисунок 3.11 - Габаритные размеры датчика давления ОВЕН ПД100-ДИ модели 1x1

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		49

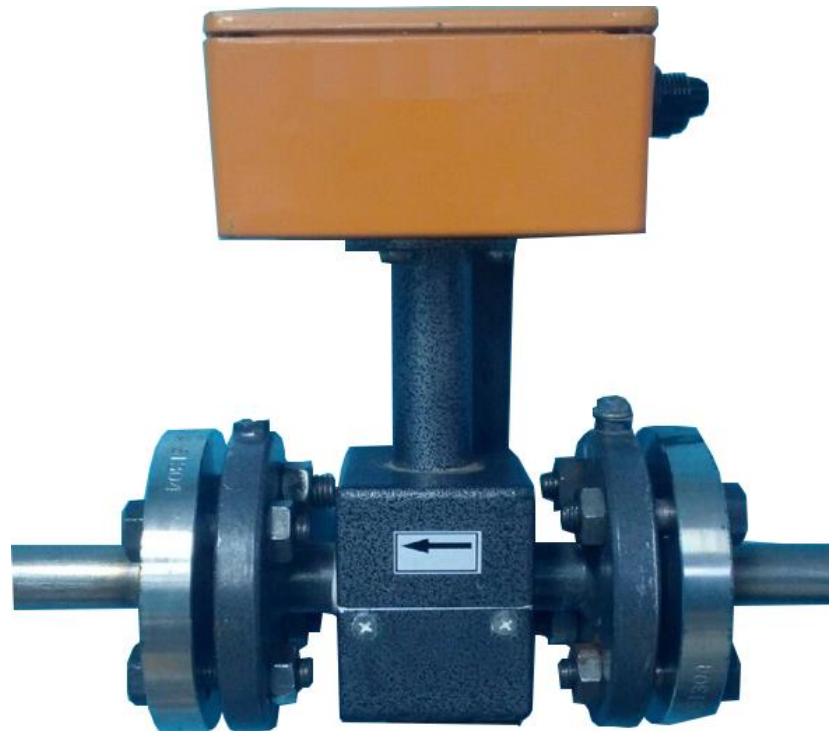
Таблица 3.5 - технические характеристики датчика давления Овен ПД100-ДИ модели 1x1.

Наименование	Значение
Выходной сигнал постоянного тока	4...20 мА, 2-х проводная схема
Основная приведенная погрешность	0,5; 1,0 % ВПИ
Диапазон рабочих температур	-40...+100 °С
Напряжение питания	12...36 В постоянного тока
Сопротивление нагрузки	0...1,0 кОм
Потребляемая мощность	не более 0,8 Вт
Устойчивость к механическим воздействиям	группа исполнения V3 по ГОСТ Р 52931
Степень защиты корпуса	IP65
Устойчивость к климатическим воздействиям	УХЛ3.1
Диапазон рабочих температур воздуха	-40...+80 °С
Атмосферное давление рабочее	66...106,7 кПа
Среднее время наработки на отказ	не менее 500 000 ч
Средний срок службы	12 лет
Межповерочный интервал	2 года
Методика поверки	КУВФ.406230.100 МП
Вес без упаковки / в упаковке	0,2 кг / 0,3 кг
Штуцер для подключения давления	M20×1,5 манометрической формы G1/2 манометрической формы, G1/4
Тип электрического соединителя	EN175301-803 форма А (DIN 43650-А)
Габаритный размер (по высоте)	не более 115 мм
Перегрузочная способность	не менее 200 % от ВПИ
Предельное давление перегрузки	не менее 400 % от ВПИ

Расходомер фирмы ОАО «Промприбор» предназначен для непрерывных измерений объемных расходов и объемов питьевой, технической, теплофикационной воды в системах водо - и теплоснабжения, а также других электропроводящих жидкостей в наполненных напорных трубопроводах.

Таблица 3.6 - технические характеристики расходомер

Тип	Ду, мм	Диапазон расходов, м ³ /ч	Диапазон температур, °С	Рабочее давление, МПа	№ Госреестра
Преобразователи расхода электромагнитные МастерФлоу	10...20 0	0,006...1100	2...150	1,6	31001-12



Рисункок 3.12 - Расходмер МастерФлоу

Таблица 3.7 - технические характеристики расходомера

Характеристика	Параметр
Модификация преобразователя	МФ
Диаметр условного прохода Ду, мм	15
Диапазон выходного тока, мА	4-20 мА
Значение минимального расхода, м ³ /ч	0,020
Значение максимального расхода, м ³ /ч	5
Порог чувствительности, м ³ /ч	0,008
Конструкция проточной части	2
Степень защиты	IP65

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		51

Модуль ввода аналоговый измерительный МВА 8 предназначен для построения автоматических систем контроля и регулирования производственных технологических процессов в различных областях промышленности, на транспорте, в сельском и коммунальном и других отраслях народного хозяйства.

Аналоговые входы модуля являются универсалами, то есть позволяют обрабатывать сигналы почти от всех типов промышленных датчиков:

1. измерение тока в диапазонах 0-5, 0-20 и 4-20 мА;
2. измерение напряжения в диапазонах -50 - =+50 мВ, 0 - 1 В;
3. сигналы от термометров сопротивления;
4. сигналы от термопар;
5. сигналы от датчиков положения исполнительных механизмов: реостатные (до 900 Ом) и токовые.

Коммуникационные возможности МВА8:

1. Модуль работает в сети RS-485 в режиме SLAVE по протоколам ОВЕН, ModBus-RTU, ModBus-ASCII или DCON;
2. Максимальная скорость обмена - 115200 бит/с;
3. Имеется OPC-драйвер и библиотека стандарта WIN DLL для подключения к SCADA-системам и контроллерам других производителей.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		52

4 Экспериментальные исследования

4.1 Обработка результатов экспериментальных данных

Уменьшение ошибки, и, следовательно, повышение точности оценки всегда связано с увеличением объема выборки. Поэтому уже на стадии организации выборочного наблюдения приходится решать вопрос о том, каков должен быть объем выборочной совокупности, чтобы была обеспечена требуемая точность результатов наблюдения.

Производится расчета числа измерений:

$$n = \left[\frac{t(\alpha, \infty)^n S}{\Delta x} \right]^2, \quad (4.1)$$

Необходимо провести статистическую обработку исходных данных: определить абсолютную и относительную погрешности измерения, откинуть промахи и правильно записать результат измерения.

Алгоритм обработки результатов.

Находится среднее арифметическое значение величины x_1, x_2, \dots, x_n :

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4.2)$$

$$\bar{x} = \frac{0,9 + 0,95 + 0,97 + 1,02 + 1,05 + 1,08 + 1,12 + 1,15 + 1,18}{10} = 1,043$$

Находится средняя квадратическая погрешность отдельно результата при n измерениях (погрешность метода измерений)

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		53

$${}^n S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}, \quad (4.3)$$

$${}^n S = \sqrt{\frac{(1,043 - 0,0215)^2}{10-1}} = 0,3405$$

Отбраковываются результаты (исключить промахи)

Находится относительное уклонение подозрительного (x_k) измерения, выраженное в долях ${}^n S$

$$v_k = \left| \frac{\bar{x} - x_k}{{}^n S} \right|, \quad (4.4)$$

$$v_k = \left| \frac{1,043 - 2,5654}{0,3405} \right| = 4,471$$

Находится значения v_{\max} v_{\min} :

если $v_k > v_{\max}$ измерение x_k отбраковать (промах);

если $v_k < v_{\min}$ измерение x_k оставить;

если $v_{\min} < v_k < v_{\max}$ измерение x_k можно и оставить и отбраковать.

Находится уточненные значения \bar{x} и ${}^n S$ для оставшихся после отбраковки результатов.

Находится среднее квадратическое отклонение среднего арифметического (погрешность результата серии измерений)

$${}^n S_{\bar{x}} = \frac{{}^n S}{\sqrt{n}}, \quad (4.5)$$

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		54

$${}^n S_{\bar{x}} = \frac{0,3405}{\sqrt{10}} = 0,107$$

Решаются доверительные интервалы Δx для \bar{x} (абсолютную погрешность серии измерений)

Задается доверительная вероятность α (для большинства инженерных экспериментов выбирают $\alpha=0,95$)

Находится табличное значение $t(\alpha; n)$ исходя из числа измерений и заданной доверительной вероятности α

Рассчитывается значение Δx

$$\Delta x = {}^n S_{\bar{x}} t(\alpha, n) \quad (4.6)$$

$$\Delta x = 0,107 \cdot 2,3 = 0,246$$

Если величина погрешности результата серии измерений Δx окажется сравнимой с величиной систематической погрешности Δx_{np} то есть погрешности прибора, то в качестве доверительного интервала следует берется величина.

$$\Delta x_{\Sigma} = \sqrt{t^2(\alpha, n) {}^n S_{\bar{x}}^2 + \left(\frac{t(\alpha, \infty)}{3}\right)^2 \Delta x_{np}^2} \quad (4.7)$$

$$\Delta x_{\Sigma} = \sqrt{2,3^2 \cdot 0,246^2 + \left(\frac{2,3}{3}\right)^2} = 0,74$$

$t(\alpha, \infty)$ - табличное значение коэффициента Стьюдента для большого количества измерений ($n \rightarrow \infty$).

Находится относительная погрешность результата серии измерений

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		55

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{\bar{x}}, \quad (4.8)$$

$$\delta_x = \frac{0,246}{1,043} = 0,24$$

Окончательный результат записывается в виде

$$x = x \pm \Delta x = (1,043 \pm 0,24), \quad (4.9)$$

Часть экспериментальных данных представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Результаты производительности гидравлического тарана

Расход м3/ч	Р обратн, кПа	Р подаю. кПа	Р г.а. кПа
2,003	350,611494	438	455,8027
2,003	345,178146	438	477,4562
2,003	346,207036	438	514,5325
2,003	348,082896	438	551,0398
2,003	337,443126	438	579,5789
2,003	336,27621	438	613,3409
2,003	339,102942	438	642,162
2,003	331,810826	438	686,9381
2,003	334,927454	438	728,775
2,003	336,093242	438	769,1304
2,003	337,369106	438	810,6084
2,003	335,369348	438	861,699
2,003	335,027444	438	898,7681
2,003	334,642436	438	934,7779
2,003	335,38833	438	970,96
2,003	332,826734	438	1006,662
2,003	332,59775	438	1041,391
2,003	335,2374	438	1073,066

В результате с каждым закрытием ударного клапана происходит закачивание жидкости в гидроаккумулятор и вес его увеличивается. Вес гидроаккумулятора с водой первоначально регистрировался после каждого закрытия ударного клапана. Но ввиду того, что повышение веса гидроаккумулятора было соизмеримо с погрешностью весов, было принято решение снимать показания весов после серии гидроударов и усреднять их внутри данной серии. На рисунке 4.1 отчетливо видно повышения давления в гидроаккумуляторе после каждой серии гидравлических ударов.

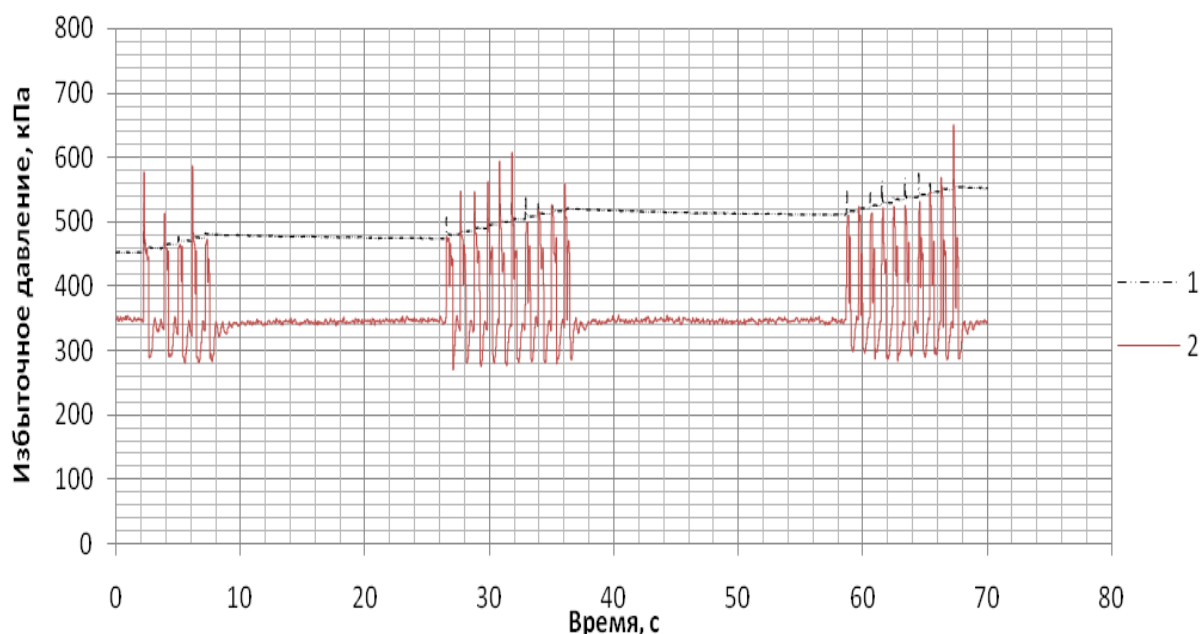


Рисунок 4.1 - Изменение давления в гидроаккумуляторе (1) и напорном трубопроводе (2) во время эксперимента (расход 2 м³/ч)

Фиксируя вес гидроаккумулятора после каждой серии гидравлических ударов производили замеры. На основании экспериментальных данных построены графики (рисунок 4.2) зависимости массы воды, нагнетаемой в гидроаккумулятор 8, от отношения давлений в трубопроводе и гидроаккумуляторе для различных величин установившегося расхода при открытом ударном клапане. Данные по производительности были усреднены внутри серии гидравлических ударов.

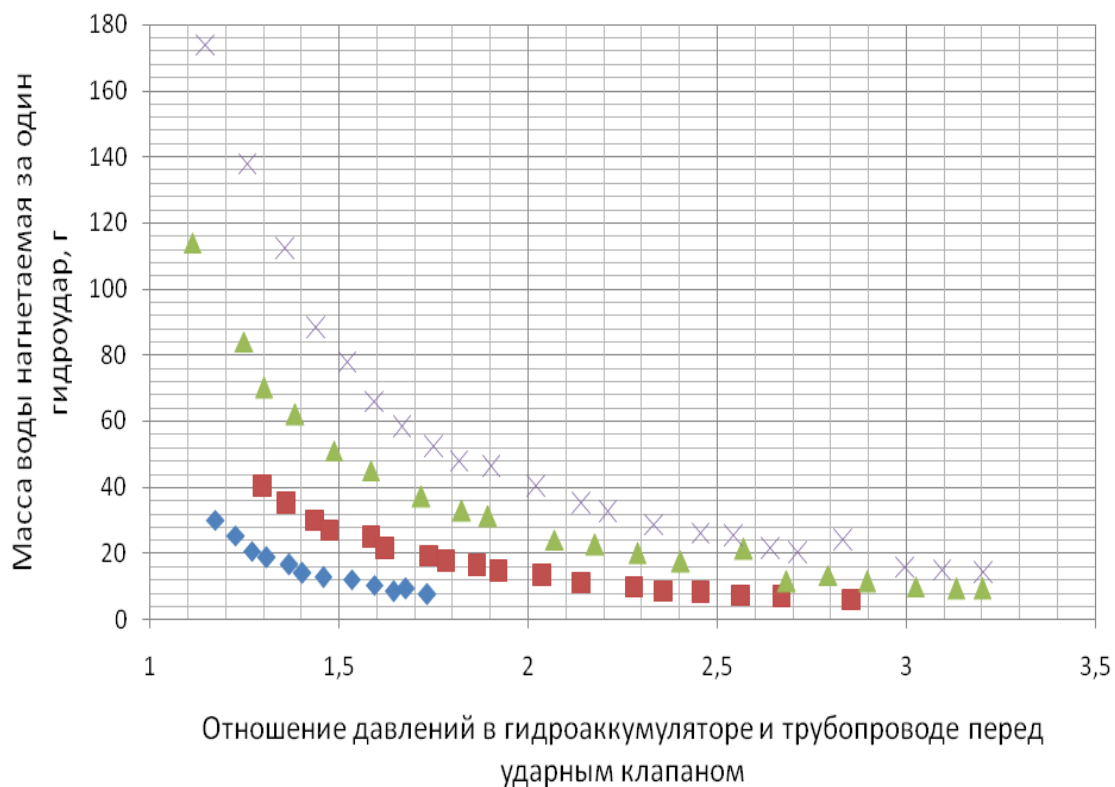


Рисунок 4.2 - Зависимости веса жидкости, выдавливаемой через обратный клапан за один гидравлический удар, от отношения давлений в гидроаккумуляторе и трубопроводе перед ударным клапаном

◆-1, 015 м³/ч, ■ - 1,497 м³/ч, ▲ - 2,003 м³/ч, × - 2,495 м³/ч

Из представленных рисунков видно, что при достижении определенного значения соотношения давлений (для фиксированного расхода), масса воды, нагнетаемой в гидроаккумулятор за один гидроудар, практически не изменяется. Были произведены расчеты производительности гидравлического тарана представленной в книге [14]. Результаты расчетов представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Сопоставление экспериментальных и расчетных данных

Q расч	P г.а./P обратн	q exper.	P г.а./P обратн
238,8261177	1,300022024	114	1,110968212
120,8811212	1,383216764	84	1,247679249
65,14301228	1,486198859	70	1,300022024
44,45952404	1,583070672	62	1,383216764
35,39933876	1,71756031	51	1,486198859

28,30987709	1,823920063	45	1,583070672
24,01065901	1,893708088	37	1,71756031
19,17705878	2,070270269	32,72727	1,823920063
15,89674732	2,175918968	31	1,893708088
13,43594949	2,28844358	24	2,070270269
11,39040667	2,40273457	22,66667	2,175918968
9,335544551	2,569403045	20	2,28844358
8,076281252	2,682670002	17,33333	2,40273457
6,993330757	2,793363248	21,33333	2,569403045
6,016170505	2,89503215	11,33333	2,682670002
5,140474665	3,024583933	13,33333	2,793363248
4,358222224	3,13108257	11,33333	2,89503215
3,695009537	3,200914928	10	3,024583933

Для сопоставления экспериментальных и расчетных данных зависимостей объема воды, нагнетаемой в гидроаккумулятор за один гидроудар, от отношения давлений в гидроаккумуляторе и трубопроводе перед ударным клапаном, построены графики, которые представлены на рисунке 4.3.

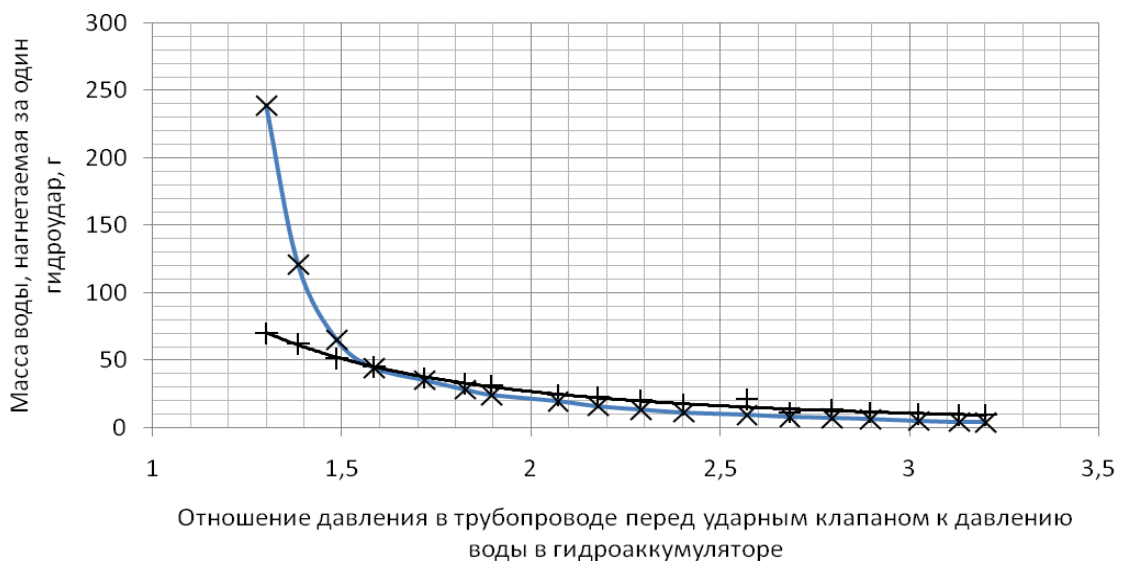


Рисунок 4.3 - Зависимости веса жидкости, выдавливаемой через обратный клапан за один гидравлический удар при расходе $2 \text{ м}^3/\text{ч}$

× - расчетные данные, + - экспериментальные данные

Использование гидравлического тарана в закрытых системах возможно, но рекомендуется установка преобразователя потока с приводом. Производительность гидравлического тарана (количество жидкости, подаваемой в гидроаккумулятор при постоянном давлении в нем) в закрытой системе и фиксированной длине трубы зависит от расхода (скорости) жидкости и соотношения давлений в гидроаккумуляторе и трубопроводе. Имеется предел целесообразного повышения давления в гидроаккумуляторе (при дальнейшем повышении давления производительность меняется незначительно). Возможно использование гидравлического тарана в закрытой гидравлической системе в качестве повысительного насоса.

4.2 Проектирование индивидуального теплового пункта

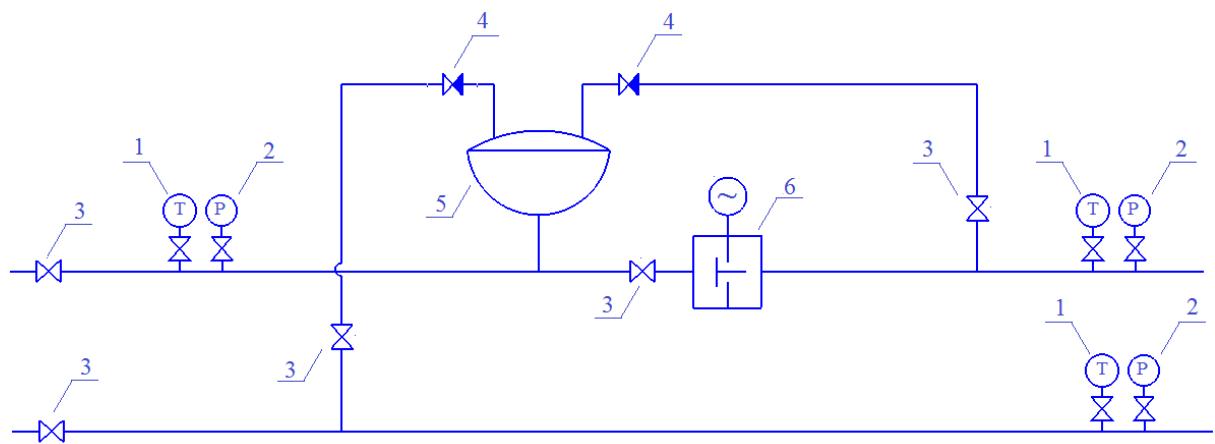
Для проектирования теплового пункта выбираем существующее здание. Параметры которого представлены в таблице. Внутренние стены толщиной 380 мм, 510 мм запроектированы из кирпича керамического утолщенного, пустотелого по ГОСТ 530-2012. Перегородки 250 мм выполняются из кирпича керамического утолщенного пустотелого керамического М 100 на растворе М 50

Таблица 4.3 - Техничко-экономические показатели 9-этажного дома

Квартир	108
Этажность сооружения	9 этажей
Температурный график теплоносителя для отопления	90-70
Температурный график теплоносителя для ГВС	60-10
Q отопления	423244 Вт =363924 кал/час
Общая площадь квартир	5254,62
Площадь жилого здания	8139,20
Расход холодной воды	36026 м3/год - 98,7 м3/сут
Расход горячей воды	14191,2 м3/год 38,88 м3/сут

Квартир	108
Этажность сооружения	9 этажей
Температурный график теплоносителя для отопления	90-70
Q отопления	423244 Вт = 363924 кал/час

Для покрытия нагрузки отопления здания предлагается использовать индивидуальный тепловой пункт имеющий следующую принципиальную схему (рисунок 4.4.).



1 - термометр; 2 - манометр; 3 - шаровый кран; 4 - обратный клапан; 5 - мембранный насос; 6 - регулирующий ударный узел

Рисунок 4.5 - Проект общественного здания

Коэффициент смешения показывает количество единиц теплоносителя из обратного трубопровода системы теплоснабжения, которое необходимо добавить к одной единице теплоносителя, поступающей из тепловой сети, для обеспечения нормируемых температур в трубопроводах, определяется по формуле:

$$u = \frac{t_1 - t_3}{t_3 - t_2},$$

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		61

$$u = \frac{150 - 90}{90 - 70} = 2$$

Расход определяется по формуле :

$$G = \frac{3.6 * Q}{c(t_1 - t_2)}, \quad (4.10)$$

$$G_{om} = \frac{423,244}{4,19(90 - 70)} = 5,0506 \frac{к\mathcal{Z}}{с} = 0,0050506 \frac{м\mathcal{З}}{с}.$$

Диаметр трубопровода определяется:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \nu}}, \quad (4.11)$$

$$D_{om} = \sqrt{\frac{4 * 0,0050506}{3,14 * 1}} = 0,0802 м = 80,2 мм.$$

Выбираем трубу стальную электросварную с наружным диаметром D 89 мм.

Рассчитаем расход теплоносителя из тепловой сети

$$G = \frac{886,583}{4,19 * (150 - 70)} = 2,6449 \frac{к\mathcal{Z}}{с} = 0,002649 \frac{м\mathcal{З}}{с},$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,002649}{3,14 * 1}} = 0,058 м = 58,05 мм.$$

Выбираем трубу стальную электросварную с наружным диаметром D76 мм.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		62

Для расчета производительности мембранного насоса воспользуемся методикой расчета гидравлического тарана.

Принимаем, что диаметр питательной трубы равен диаметру гидравлического тарана, далее определяется суммарный коэффициент гидравлического сопротивления (потерь) ξ_{nom} для системы «питательная труба - ударный клапан»

$$\xi_{\Sigma} = \xi_{ex} + \xi_{mp} + \xi_{кл} + \sum \xi_{\Sigma}, \quad (4.12)$$

где ξ_{ex} - коэффициент гидравлических потерь на входе в питательную трубу;

ξ_{mp} - коэффициент гидравлических потерь на трение жидкости в трубе;

$\xi_{кл}$ - коэффициент гидравлических потерь ударного клапана;

$\sum \xi_{\Sigma}$ - сумма коэффициентов гидравлических потерь имеющих на питательной трубе местного сопротивления.

Значение λ_{mp} сложным образом зависит от режима течения жидкости (ламинарный, турбулентный), критерий Рейнольдса, относительно шероховатости стенки канала

$$Re = \frac{\omega \cdot D_n}{\vartheta} = \frac{\rho \cdot \omega \cdot D_n}{\eta}, \quad (4.13)$$

$$\omega = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot d_{num}^2}{4}}, \quad (4.14)$$

$$\omega = \frac{4 \cdot 0,005}{3,14 \cdot 0,08^2} = 0,99 \text{ м/с},$$

$$D_k = d_{num} = 0,08 \text{ м},$$

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		63

$$Re = \frac{1000 \cdot 0,99 \cdot 0,08}{0,00089} = 88988,76,$$

$$\lambda_{mp} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,0001}{0,08} \right)^{0,25} = 0,02,$$

$$\xi_{mp} = 0,016 \cdot \frac{36,7}{0,08} = 7,34,$$

$$\xi_{\Sigma} = 7,34 + 4 + 0,65 + 3 = 14,99.$$

Установившиеся скорость жидкости в питательной трубе

$$g_c = \frac{G}{H \cdot d}, \quad (4.15)$$

$$g_c = \frac{5,0506}{40 \cdot 0,08} = 1,57 \text{ м/с}$$

Характерный параметр

$$\tau = \frac{l_{num}}{g_c \cdot (1 + \xi_{\Sigma})}, \quad (4.16)$$

$$\tau = \frac{36,7}{1,57 \cdot (1 + 14,99)} = 1,46 \text{ сек.}$$

Предварительная производительность нагнетания гидравлического тарана при значении коэффициента полезного действия водоподъемной установки в диапазоне $\eta = 0,8 \dots 0,99$

$$q = \eta \cdot Q \cdot \frac{H}{h_1}, \quad (4.17)$$

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		64

$$\frac{H}{h_1} = 0,8 \text{ м.},$$

$$Gom = \frac{423,244}{4,19 \cdot (150 - 70)} = 5,0506 \frac{\text{кг}}{\text{с}} = 0,0050506 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$q = 0,8 \cdot 5,0506 \cdot 0,8 = 3,23 \text{ л/с.}$$

Скорость распространения волны удара определяем по формуле Н.Е. Жуковского

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{d_{num}}{\delta} + \frac{K}{E}}}, \quad (4.18)$$

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{0,08}{0,02} + \frac{1}{100}}} = 636,73 \text{ м/с.}$$

Динамический нагнетательный напор

$$h_o = H \cdot \left(\frac{h}{H} - 1 + \frac{1 + \xi_{mp}}{1 + \xi_{\Sigma}} \right), \quad (4.19)$$

$$h_o = 40 \cdot \left(0,8 - 1 + \frac{1 + 7,34}{1 + 14,99} \right) = 32,43 \text{ м.}$$

Волновое изменения скорости необходимое для процесса нагнетания

$$u = \frac{g \cdot h_o}{a}, \quad (4.20)$$

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		65

$$u = \frac{9,81 \cdot 32,43}{636,76} = 0,49 \text{ м/с}.$$

Продолжительность периода разгона

$$t_{\text{разг}} = \tau \cdot \ln \frac{1+k}{1-k}, \quad (4.21)$$

$$t_{\text{разг}} = 1,46 \cdot \ln \frac{1+0,1}{1-0,1} = 0,3 \text{ сек.}$$

Вспомогательные коэффициенты k_1, k_2, k_3 и β

$$k_1 = \ln \frac{1}{1-k^2}, \quad (4.22)$$

$$k_1 = \ln \frac{1}{1-0,1^2} = 0,1,$$

$$k_2 = 1 - 0,7 \cdot k^2,$$

$$k_2 = 1 - 0,7 \cdot 0,1^2 = 0,99,$$

$$k_3 = 2 \cdot k - k_2 \cdot \frac{t_{\text{разг}}}{\tau},$$

$$k_3 = 2 \cdot 0,1 - 0,99 \cdot \frac{1}{0,36} = 0,0002,$$

$$\beta = \frac{h}{H} \cdot \frac{t}{\tau} + k_3 + 6 \cdot \frac{u}{g_c}, \quad (4.23)$$

$$\beta = 1,25 \cdot 0,2 + 0,0002 + 6 \cdot 0,31 = 2,11.$$

Продолжительность полного цикла работы гидравлического тарана

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		66

$$T = \frac{\beta \cdot \tau}{\frac{h}{H} - k}, \quad (4.24)$$

$$T = \frac{2,11 \cdot 1,46}{1,25 - 0,1} = 2,67 \text{ сек.}$$

Расход жидкости, сброшенный тараном через ударный клапан

$$Q_1 = k_2 \cdot \frac{\pi \cdot d_{num}^2 \cdot g_c}{4 \beta} \cdot \left(\frac{h}{H} - k_2 \right) \cdot 1000, \quad (4.25)$$

$$Q_1 = 0,99 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,08^2 \cdot 1,57}{2,11} \cdot (1,25 - 0,99) \cdot 1000 = 0,96 \text{ м}^3 / \text{с.}$$

Нагнетательный расход жидкости

$$q = \frac{\pi \cdot d_{num}^2 \cdot g_c}{4 \beta} \cdot \left(k_2 - \frac{u^2}{g_c^2} \right), \quad (4.26)$$

$$q = \frac{3,14 \cdot 0,08^2 \cdot 1,57}{2,11} \cdot \left(0,99 - \frac{0,49^2}{1,57^2} \right) = 0,003 \text{ м}^3 / \text{с.}$$

Нагнетательный расход

$$q = \frac{\pi \cdot d_{num}^2 \cdot 0,24}{4} \cdot g_c \cdot \phi, \quad (4.27)$$

где ϕ - функция, зависящая параметров и режимов работы гидравлического тарана h/H , u/g_c .

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		67

Функция ϕ имеет вид

$$\phi = \frac{k_2 - \frac{u^2}{g_c^2}}{\frac{h}{H} \cdot \frac{t}{\tau} + k_3 + 6 \cdot \frac{u}{g_c}}, \quad (4.28)$$

$$\phi = \frac{0,99 - \frac{0,49^2}{1,57^2}}{0,8 \cdot \frac{0,03}{1,46} + 0,02 + 6 \cdot \frac{0,49}{1,57}} = 0,48,$$

$$q = \frac{3,14 \cdot 0,08^2 \cdot 0,24}{4} \cdot 1,57 \cdot 0,47 = 0,00089 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Производительность тарана:

$$P = 0,00089 \cdot 3600 = 3,22 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Мембранный насос должен состоять из двух мембран, с отношением их площадей равным отношению расхода воды на отопление дома деленное на производительность тарана:

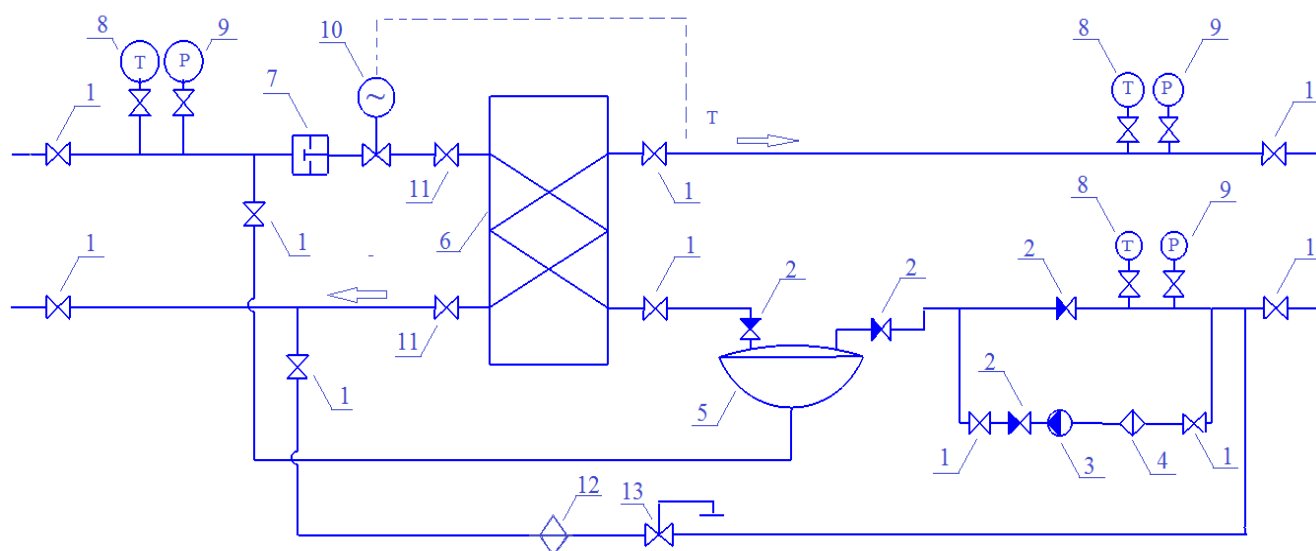
$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{G}{q} = \frac{5,0506}{3,22} = 1,6. \quad (4.29)$$

Из полученных значений следует что, для полного покрытия расхода в системе отопления дома необходимо использовать мембранный насос с двумя мембранами. Соотношение площадей мембран принимаем с 20 % запасом и равным 1,9.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		68

В случае не совпадения гидравлического режима течения тепловой сети с гидравлическим режимом рассматриваемого здания возможно его подключение по следующей схеме представленной на рисунке 4.4.

Расчет диаметров и производительностей насосов аналогичен предыдущей схеме. Поэтому данные для подбора оборудования выбираем из предыдущего расчета.



- 1 - шаровый кран; 2 - обратный клапан; 3 - насос; 4 - регулирующий клапан; 5 - мембранный насос; 6 - теплообменник; 7 - ударный клапан; 8 - датчик температуры ; 9 - датчик давления; 10 - клапан с электроприводом; 12- фильтр; 13 – регулятор давления

Рисунок 4.4 - Схема индивидуального теплового пункта

Далее у поставщиков теплообменного оборудования был запрошен пластинчатый теплообменник технические характеристики которого представлены в таблице 4.3. Лист подбора в приложении 1.

Таблица 4.3 - Теплообменник пластинчатый Nord-NT

Контур	Греющий	Нагреваемый
Среда	Вода	Вода

Расход т/ч	4,92	19,87
Температура на входе	150	69
Температура на выходе	70	89
Потери давления, м.вод.ст	0,21	2,5
Скорость в каналах, м/с	0,21	0,75
Расчетное/пробное давление, кгс/м ²	16,22	16,22

На основании данных характеристик выбранного здания (гидравлического сопротивления системы отопления и расхода теплоносителя) был выбран циркуляционный насос Wilo S 40/15.

Таблица 4.4 - Технические характеристика циркуляционного насоса Wilo TOP 40/15

Насос модель	Wilo TOP 40/15
Допустимый диапазон температур	от -10° С до +110° С
Подключение к сети	1~230 В, 50 Гц
Расход	21 м ³ /ч
Макс. рабочее давление	10 бар
Напор	15 м

Для поддержания температуры в контуре системы отопления выбран регулирующий клапан КПСР 100 Ду65. Технические характеристики которого представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Характеристика регулирующего клапана КПСР 100 Ду65

Насос модель	КПСР 100 Ду65
Рабочее давление:	16 бар.
Рабочая температура	-15 до +150°С
Температура окр. среды	-15 до +50°С
Управление	Regada ST 0
Условная пропускная способность	Kv, куб.м/ч: 25; 32; 40; 63.

Составили спецификацию ИТП с импульсным течением теплоносителя, которая представлена в таблице 4.6.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		70

Таблица 4.6 - Спецификация ИТП с импульсным течением теплоносителя

Позиция	Обозначение	Наименование	Количество
1	LD КШЦФ100.016.02	Шаровый кран	8
2	Danfoss Sylax	Обратный клапан	4
3	Wilo TOP 40/15	Циркуляционный насос	1
4	КПСР 100 Ду65	Регулирующий клапан	1
5		Мембранный насос	1
6	Nord-NT	Теплообменник пластинчатый	1
7		Ударный клапан	1
8	Stout	Манометр	3
9	БТ 210	Термометр биметаллический	3

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		71

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ литературных источников по теме диссертации показал положительные эффекты использования импульсного режима течения теплоносителя в тепловых пунктах. В результате анализа выявлена целесообразности автоматизации индивидуальных тепловых пунктов, что позволяет снизить перерасход тепловой энергии за счет «перетопов». На основании чего принято решение для создания пульсаций теплоносителя использовать ударный узел с электроприводом

Составлена математическая модель импульсного режима течения теплоносителя в виде энергетической цепи. Решение которой являются Графики АЧХ. Исходя из полученных графиков АЧХ можно сделать вывод, что рассматриваемая система имеет два максимума, при частотах 0,3 рад/с и 0,5 рад/с, и минимумы на частотах 0,17 рад/с и 0,37 рад/с. Отсюда следует, что наибольшей пропускной способностью будет обладать система при частотах 0,17 рад/с и 0,37 рад/с. А для максимальной производительности мембранного насоса, в данной схеме он обозначен как элемент податливости, подходят частоты 0,3 рад/с и 0,5 рад/с.

Смонтирована экспериментальная установка, на основании разработанной принципиальной схемы. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют что пользоваться методикой расчета гидравлического тарана для проектирования систем с импульсным течением теплоносителя возможно только при соотношении давлений нагнетания и питания более 1,5 раза.

Составлена принципиальная схема, выполнен расчет и подбор элементов ИПТ с независимым подключением к тепловой сети и импульсным течением теплоносителя в греющем контуре. Данная схема предназначена для использования для подключения здания при наличии избыточного располагаемого напора тепловой сети.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		72

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1) Левцев А. П. Импульсные системы тепло-, водоснабжения сельскохозяйственных объектов / А. П. Левцев, С. Ф. Кудашев, А. Н. Макеев // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный аграрный университет имени В. П. Горячкина». - 2010. - № 2(41). - С. 91-95*.

2) Вантюсов Ю.А. Механические цепи сельскохозяйственных машин / Бусарва Р.Н // Учебн. пособие.1980.

3) Кудашев С. Ф. Потенциал гидравлического удара в сетях теплоснабжения / С. Ф. Кудашев, А. Н. Макеев // Материалы XIV научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарёва, 19-24 апр.2010 : в 2 ч. Ч. 1 : Технические и естественные науки / сост. О. И. Скотников [и др.]. - Саранск, 2010. - С. 20-24.

4) Современные наукоемкие технологии. - 2019. - № 10 (часть 2) - С. 55-59/ Кудашев С.Ф., Кудашева О.В., Душутина О.В., Равилов Р.Р.

5) Современные наукоемкие технологии. - 2018. - № 7 (часть 1) - С. 262-267/ Кудашев С.Ф., Кудашева О.В., Душутина О.В., Равилов Р.Р.

6) Левцев А. П. Импульсные системы теплоснабжения / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, С. Ф. Кудашев // Информ. листок о науч.-техн. достижении / Мордов. ЦНТИ; № 13 - 006 - 13. 19

7) Кудашев С. Ф. Применение гидравлического тарана в системе теплоснабжения здания / Е. С. Лапин, С. Ф. Кудашев // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / редкол.: А. В. Котин [и др.]. - Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2012. - С. 324-327.

8) Пат. РФ №102760, МПК F24D 3/00. Тепловой пункт / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, С. Ф. Кудашев ; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва». - № 2010143635 ; заявл. 25.10.2010; опубл. 10.03.2011, Бюл. № 7.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		73

9) Пат. РФ №114129, МПК F24D3/02. Ударный узел / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, С. Ф. Кудашев ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва». - № 2011138880 ; заявл. 22.09.2011 ; опубл. 10.03.2012, Бюл. № 7.

10) Пат. РФ № 2484380, МПК F24D3/02. Ударный узел / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, С. Ф. Кудашев ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». - № 2012111639; заявл. 26.03.2012 ; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 16.

11) Пат. РФ № 128263, МПК F15B21/12. Ударный узел / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, С. Ф. Кудашев ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва». - № 2012153602 ; заявл. 11.12.2012; опубл. 20.05.2013, Бюл. № 14.

12) Левцев А. П. Использование импульсного режима для интенсификации теплообмена в контуре ГВС с пластинчатыми теплообменниками / А. П. Левцев, С. Ф. Кудашев, А. И. Лысяков // Образование. Наука. Научные кадры. - 2013. - № 5. - С. 213-217.

13) Левцев А. П. Влияние импульсного режима течения теплоносителя на коэффициент теплопередачи в пластинчатом теплообменнике системы горячего водоснабжения / А. П. Левцев, С. Ф. Кудашев, А. Н. Макеев, А. И. Лысяков // Современные проблемы науки и образования. - 2014. - № 2;

14) «Гидравлический таран и таранные установки» В.М. Овсепян «Машиностроение » 1968, 124 с.

15) ГОСТ 356-80. (СТ СЭВ 253-76)/ Арматура и детали трубопроводов. Давления номинальные, пробные и рабочие. Ряды / М: Государственный комитет стандартов совета министров СССР .

16) ГОСТ Р 51753-2001. Баллоны высокого давления для сжатого природного газа, используемого в качестве моторного топлива на автомобильных транспортных средствах / М.: Государственный стандарт Российской Федерации.

17) Гост 8.586.2-2005. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		74

стандартных сужающих устройств. Часть 2. Диафрагмы. Технические требования. М.: Государственный стандарт Российской Федерации.

18) Гост 8.586.1-2005. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 1. Диафрагмы. Технические требования. М.: Государственный стандарт Российской Федерации.

19) Ионин, А.А. Обоснование уровня давления при летних гидравлических испытаниях теплопроводов / А.А. Ионин, Я.Х. Фридман // Новости теплоснабжения. - 2001. - № 6 (10). - С. 22-27.

20) Damages of the Tallinn district heating networks and indicative parameters for an estimation of the networks general condition / A. Hlebnikov, A. Volkova, O. Džuba et al. // Scientific Journal of Riga Technical University. Environmental and Climate Technologies. - 2010. - Vol. 5, no. 1. - P. 49-55. DOI: 10.2478/v10145-010-0034-3.

21) Муравин, Е.Л. Оценка адекватной величины пробного давления при выполнении гидравлических испытаний трубопроводных участков городских тепловых сетей / Е.Л. Муравин, Ю.П. Бородин, В.Г. Харебов // Трубопроводный транспорт: теория и практика. - 2011. - № 2 (24). - С. 39-45.

22) Nielsen, S. GIS based analysis of future district heating potential in Denmark / S. Nielsen, B. Möller // Energy. - 2013. - Vol. 57. - P. 458-468. DOI: 10.1016/j.energy.2013.05.041.

23) «Об утверждении Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок». — М.: Приказ Минэнерго РФ от 24 марта 2003 г. N 115

24) ПБ-03-75. Правил устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды.

25) «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением " (зарегистрировано Министерством юстиции Российской Федерации от. 25 марта 2014 г, регистрационный № 116, , 2014, N 120/1

26) Damages of the Tallinn district heating networks and indicative parameters for an estimation of the networks general condition / A. Hlebnikov, A. Volkova, O.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		75

Džuba et al. // Scientific Journal of Riga Technical University. Environmental and Climate Technologies. - 2010. - Vol. 5, no. 1. - P. 49-55. DOI: 10.2478/v10145-010-0034-3.

27) РД 34.03.201-97 Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей.

28) РД 34.20.501-95. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации.

29) Строительные нормы и правила Российской Федерации «Тепловые сети» СНиП 41-02-2003 - М.: 2004.

30) Строительные нормы и правила Российской Федерации «Тепловые сети» Государственный комитет Совета Министров СССР по делам строительства СНиП 3.05.03-85- М.: 2004.

31) СО 153-34.20.501-2003. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации.

32) СНиП 2.04.05-91. «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

33) Смирнов А.Н. Анализ методик проведения испытаний оборудования работающего под давлением (краткий обзор) / Е.А. Ожиганов, Д.Н. Бакланов, А.Г. Кузнецов, Г.Г. Кузнецов // Технология машиностроения. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 2.

34) Свод правил Российской Федерации «Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования» СП 40-102-2000.

35) СТО 10.001-2009 «Тепловые сети. Нормы и методы расчета на прочность».

36) СТО 2-3.5-354-2009 «Порядок проведения испытаний магистральных газопроводов в различных природно-климатических условиях»..

37) ТИ 34-70-045-85 «Типовая инструкция по технической эксплуатации систем транспорта и распределения тепловой энергии (тепловых сетей)».

38) Рожков, Р.Ю. Управление режимом теплоснабжения в зоне эксплуатационной ответственности ОАО «Теплосеть Санкт-Петербурга» / Р.Ю. Рожков // Новости теплоснабжения. - 2012. - № 1 (137). - С. 26-30.

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		76

39) ФНП N 116. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под давлением»

40) [Электронный ресурс]: режим доступа: - <https://wilo.com>

41) [Электронный ресурс]: режим доступа: - <http://www.wester.su>

42) [Электронный ресурс]: режим доступа: - <http://wattsindustries.ru>

43) [Электронный ресурс]: режим доступа: - <http://masterflow.ru>

44) [Электронный ресурс]: режим доступа: - <https://postroy-sam.com/>

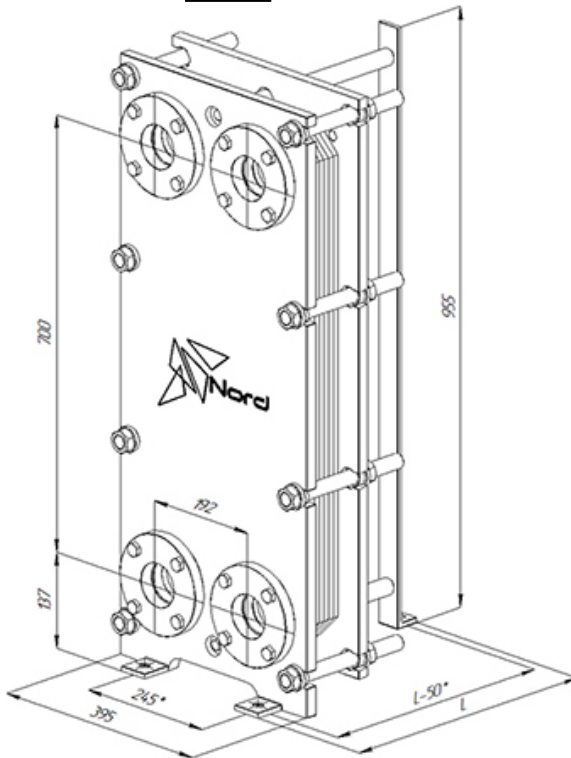
45) [Электронный ресурс]: режим доступа: - <http://www.lcard.ru>

					МД-02069964-13.04.01-25-20	Лист
Изм	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата		77

Расчет № WN1-2020061679

Серия ПТО: NT

Дата: 16.06.2020



*- установочные размеры

Тепловая нагрузка, ккал/ч	398180
Коэф. теплопередачи, ккал/м ² *ч*К	4276
Запас площади пов-ти, %	10.66
Эффективная площадь, м ²	6.38
Материал прокладок	EPDM
Количество пластин	31-TMTL17
Материал пластин	AISI316
Толщина пластин, мм	0.5
Масса нетто, кг	235
Внутренний объём, л	18
Длина (L), мм	385
ДУ, мм	65

	Контур	
	Греющий	Нагреваемый
Среда	Вода	Вода
Расход, т/ч	4.92	19.87
Температура на входе, С	150	69
Температура на выходе, С	70	89
Потери давления, м.вод.ст.	0.21	2.5
Скорость в каналах, м/с	0.21	0.75
Расчётное/пробное давление, кгс/см ²	16/22	
Расчётная температура, С	160	

Поставщик:

/

М.П.

Покупатель:

Данные расчёта проверены и согласованы

/

М.П.