

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт факультет Машиностроения
Кафедра «Мехатроника и автоматизация»
Направление «Мехатроника и робототехника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
В.Р. Гасияров

_____ 2019 г.

РАЗРАБОТКА МЕХАТРОННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ОТОПЛЕНИЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗДАНИЯ
УЧАСТКА ФОРМОВКИ ЦЕХА «ВЫСОТА 239» ПАО «ЧТПЗ»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫКУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА
ЮУрГУ – 15.03.06.2019.114.ПЗ (ВКР)

Нормоконтролер
Преподаватель
Гасиярова О.А.

_____ 2019 г.

Руководитель работы
К.т.н./Доцент
И.А. Якимов.

_____ 2019 г.

Ст. преподаватель
Воронин С.С.

_____ 2019 г.

Автор проекта
студент группы П-456
Максим Сергеевич Григорьев

_____ 2019г.

Челябинск 2019

АННОТАЦИЯ

Григорьев М.С. Разработка мехатронной автоматизированной системы управления отоплением производственного помещения участка формовки цеха «Высота 239» ПАО «ЧТПЗ» – Челябинск: ЮУрГУ, П-456, 81 с., 29 илл., 11 табл., библиогр. список –19 наим.

Цель выпускной квалификационной работы – разработка мехатронной автоматизированной системы управления отоплением участка формовки цеха «Высота 239». В выпускной квалификационной работе был описан технологический процесс работы системы, были рассчитаны необходимые механические, электрические и гидравлические параметры системы.

В данной работе была разработана архитектура системы автоматизации. В рамках данной работы было рассчитано и подобрано силовое оборудование и его проверка, так же рассчитаны и подобраны оборудования для защиты привода и построена тахограмма. Для разработки системы автоматического регулирования был использован пакет Simulink программы MATLAB.

В экономической части была рассчитана смета всех капитальных затрат, фонд оплаты труда. Далее была проведена оценка эффективности капитальных вложений от внедрения результатов ВКР. Сумма капитальных затрат, как и величина сэкономленных средств были рассчитаны, что позволило рассчитать срок окупаемости и оценить эффективность и оправданность внедрения.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	10
1.1 Характеристика цеха, описание технологического процесса работы механизма.....	10
1.1.1 Устройство котельной.....	12
1.1.2 Тепловой вход в здание.....	13
1.1.3 Узел насоса.....	13
1.1.4 Рассеивающий радиатор.....	13
1.1.5 Обратный коллектор.....	14
1.2 Характеристика и кинематическая схема проектируемого механизма.....	15
1.3 Требования к приводам и системе автоматизации.....	20
1.4 Выбор системы привода.....	22
1.5 Расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы привода.....	24
1.5.1 Расчет насоса.....	25
1.5.2 Расчет и подбор электродвигателя.....	28
1.5.3 Построение рабочей характеристики и расчет нагрузок.....	31
1.6 Выбор основного силового оборудования.....	36
1.7 Защиты привода.....	40
2 РАЗРАБОТКА САУ.....	42
2.1 Разработка архитектуры систем автоматизации.....	42
2.2 Описание контроллера и датчиков технологических координат.....	45
2.2.1 Анализ и подбор контроллера.....	45
2.2.2 Анализ станции удаленного доступа.....	48
2.2.3 Подбор датчиков технологических координат.....	49

2.3	Выбор и разработка функциональной схемы САР привода проектируемого агрегата.....	54
2.4	Разработка контура регулирования технологических координат.....	56
2.5	Разработка структурной схемы САУ и моделирование типовых режимов работы привода.....	61
3	ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ	70
3.1	Краткая характеристика подразделения и выпускаемой продукции.....	70
3.2	Расчет производственной программы цеха	71
3.3	Расчет сметы капитальных затрат	72
3.4	Расчет РСЭО	74
3.4.1	Затраты на материалы и сырье при эксплуатации оборудования.....	75
3.4.2	Затраты на электроэнергию.....	76
3.5	Эксплуатационные затраты на заработную плату.....	76
3.6	Расчет срока окупаемости проекта.....	78
3.7	Составление сводной таблицы технико-экономических расчетов	79
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	80
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	81

ВВЕДЕНИЕ

В связи с важной ролью в современном производстве таких природных ресурсов как нефть и природный газ, к трубной промышленности предъявляется все больше требований. Рынок трубной продукции требует качественных трубных изделий различного сортамента. Для транспортировки нефти и газа необходимо трубы большого диаметра. Производство качественной трубной продукции возможно при соблюдении высоких требований к металлу, трубопрокатному оборудованию, а также при точном выполнении требований к технологическому процессу производства труб. Продукция трубопрокатного производства также востребована для узкоспециализированных производств, жилищно-коммунальных услуг и других целей, так как трубы – простой и надежный способ транспортировки.

Помимо требований к трубопрокатной продукции, возрастают также требования к самим предприятиям этой отрасли. Основные направления развития трубопрокатных производств на данный момент – качество, экономичность, темпы производства, технологичность и соблюдение прав трудящихся с обеспечением комфортных условий рабочего процесса.

Многие технологические станции, станки и линии производства в цеху «Высота 239» функционируют с большим выделением тепла. Большой объем производственного здания и открытые выходы из помещения даже в холодное время года вкупе с работой сильно греющихся агрегатов могут создавать некомфортные условия работы, так как некоторые ветви системы могут выходить непосредственно на производственные участки, в то время как другие – в обособленные рабочие места персонала. Более приоритетным направлением модернизации системы отопления является обеспечение экономичности ее работы. На данный момент насосы отопительной системы функционируют на максимальной скорости большую часть рабочего времени и потребляют значительный объем электроэнергии [1].

На данном этапе технического прогресса во всех развитых странах мира в последние годы принято направление, согласно которому необходимо как можно эффективнее распределять и использовать все виды энергоресурсов. Это позволяет не только сберечь потраченные средства, но и рационализировать производство посредством его модернизации.

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование отопительной системы, в большей степени отвечающей требованиям комфорта персонала и экономичности. В ходе работы будет предложен проект модернизации отопительной системы посредством улучшения узла насоса и введением возможности частотного регулирования двигателя насоса, что наряду с построением системы автоматического регулирования позволит отнести узел насоса к мехатронным узлам. Мехатронная система управления насосной станцией системы отопления имеет массу преимуществ по сравнению со стандартным узлом насоса.

Большинство насосных установок стран постсоветского пространства использует нерегулируемый электропривод, что приводит к лишним затратам электроэнергии. Использование регулируемого электропривода насосных агрегатов показало, что регулирование скорости рабочего колеса насосов позволяет существенно повысить энергетические показатели установок, получить значительную экономию электроэнергии, и сократить потери воды за счет исключения избытка давления в гидравлической сети [2].

Таким образом, производится модернизация действующих насосных установок с применением в цепи питания преобразователей частоты, позволяющих регулировать скорость двигателя. При этом используются преобразователи как иностранных, так и отечественных фирм-производителей.

Целью данного выпускного квалификационного проекта является проектирование частотно-регулируемого электропривода насосной установки. Применение частотно-регулируемого электропривода трубомеханизмов позволяет обеспечить требуемые технологические показатели при существенном сокращении

затрат электроэнергии. Тема данного выпускного квалификационного проекта является весьма актуальной в настоящее время.

Проект состоит из трех частей: анализ технологического процесса и выбор основного оборудования, разработка системы автоматического управления, технико-экономические расчеты.

В первой части выпускной квалификационной работы рассмотрены: технологический процесс и техническая характеристика мехатронной насосной станции системы отопления, произведен расчет и выбор основного оборудования, произведен расчет и построение тахограммы и нагрузочной диаграммы двигателя, составлены кинематическая и силовая схемы. В этой части были подобраны защиты привода и расчет уставок защитных устройств.

Во второй части выпускной квалификационной работы приведена функциональная схема привода, структурная схема частотно-управляемого привода, смоделирована система автоматического регулирования, разработана архитектура системы автоматизации, приведены характеристики используемого оборудования, такого как контроллер, станции удаленного доступа, датчики и составляющие элемент полевого уровня системы.

В третьей части выпускной квалификационной работы рассмотрены: инвестиционные затраты на поставку требуемого оборудования, приведен расчет на обслуживание и эксплуатацию, доказана экономическая актуальность модернизированного проекта.

Оправданность разработки проекта можно оценить по следующим критериям: как будет выполняться основная функция системы, насколько результаты будут соотноситься с требованиями и насколько проект оправдан с точки зрения экономического аспекта. Итоги буду подведены после выполнения всех трех частей в разделе заключения.

1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Характеристика цеха, описание технологического процесса работы механизма

Новый современный цех по производству труб большого диаметра "Высота 239" был запущен в июле 2010 года. С выходом на проектную мощность в 2011 году цех способен производить 900 000 тонн труб большого диаметра в год, что увеличит годовой объем производства этого вида труб на ЧТПЗ до 1,35 миллиона тонн. Новое оборудование цеха позволяет изготавливать одношовные сварные трубы диаметром до 1 420 мм с толщиной стенки до 48 мм и длиной 12 и 18 метров, с наружным и внутренним покрытием. Характеристики продукции цеха "Высота 239" соответствуют всем требованиям потребителей (в том числе и перспективным) и могут использоваться в суровых климатических условиях (например, Восточной Сибири, где увеличивается объем разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений), при повышенной сейсмоактивности и при прокладке трубопроводов по дну морей [3].

Цех подразделен на участки, основные участки производства: формовка, сварка, отделка и участок антикоррозийного покрытия.

Исходным материалом для полуавтоматической линии производства труб большого диаметра являются листы.

Производственная линия состоит из листоукладчика, рольганговых весов, дробеметной установки, участка маркировки, кромкофрезерной машины, кромкогибочного пресса, трубоформовочного пресса, сборочно-сварочного стана, машин для сварки внутреннего и внешнего шва, устройства отрезания технологических планок, установок ультразвукового и рентгеновского контроля, машины для газовой резки, машины удаления внутреннего и внешнего валика шва на концах труб, станка для торцовки концов труб и испытательного пресса.

Изготовление труб включает в себя множество операций, производимых на различных технологических станциях. Процесс изготовления труб отображен на схеме технологического процесса (Рисунок 1.1).

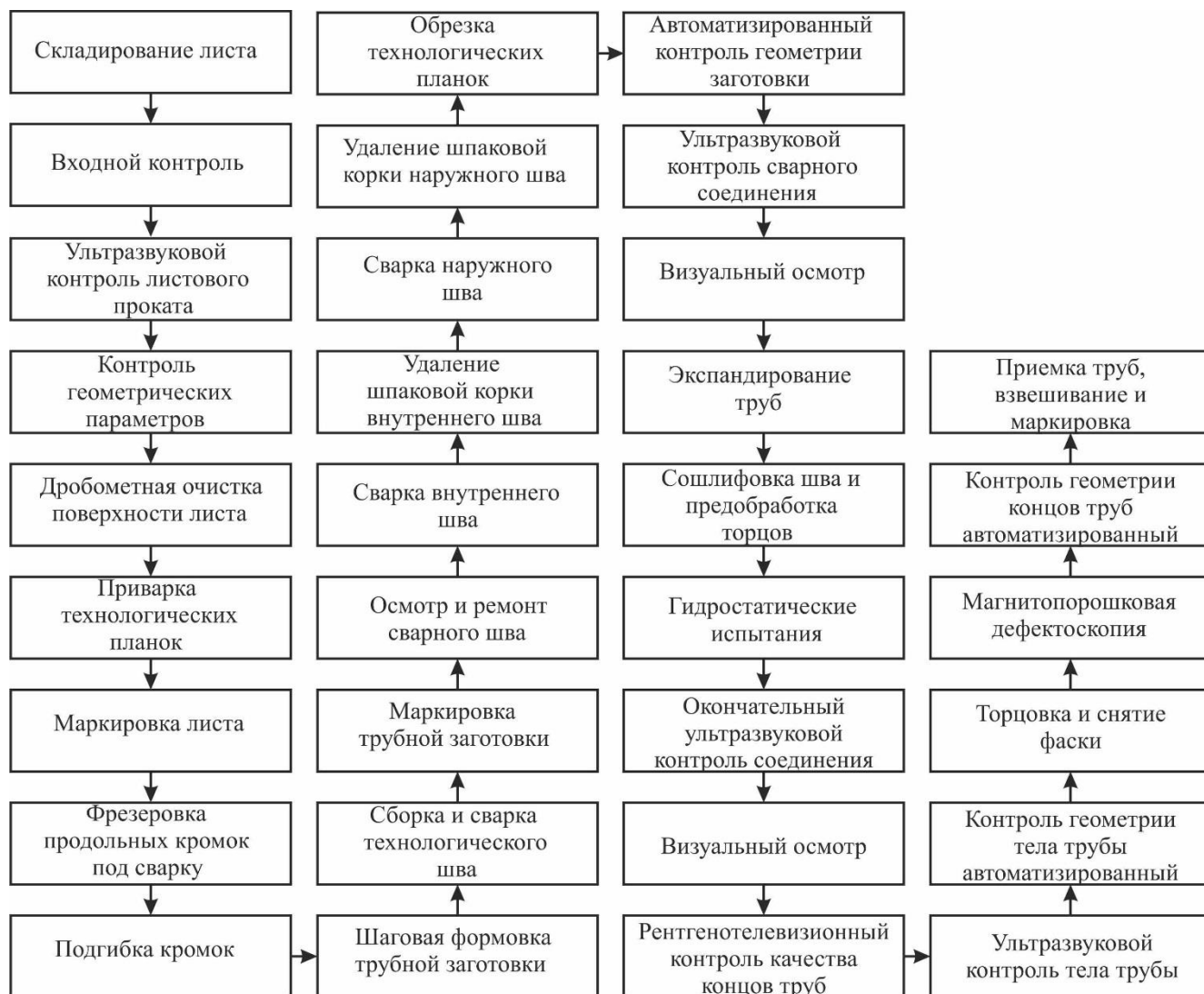


Рисунок 1.1 – Упрощенная схема технологического изготовления труб цеха «Высота 239»

Система в общем виде представляет из себя котельную станцию, соединенную с индивидуальными тепловыми пунктами прямым и обратным трубопроводом. Один индивидуальный тепловой пункт начинается с теплового входа в здание, где теплоноситель проходит по трубам от котельной до ИТП. От теплового входа в

здание трубопровод идет до распределительного коллектора, где линия разделяется на три части. Каждая из частей оснащена насосной станцией; насосная станция будет оснащена частотным преобразователем для регулирования характера потока теплоносителя.

Технологический процесс системы может быть разбит на несколько основных этапов. Некоторые из этапов реализуются посредством оборудования, не относящегося к системе привода. Такое оборудование не будет подробно рассмотрено в ходе выполнения выпускной квалификационной работы, а данные этого оборудования будут лишь использоваться в некоторых расчетах.

1.1.1 Устройство котельной

Весь производственный комплекс или несколько его групп питаются от центральной сети теплоснабжения. ЧТПЗ – крупное предприятие, имеющее собственные котельные. Центральный элемент системы водяного отопления водогрейный котел. Стальные водогрейные котлы имеют мощность от 150 кВт до 4 МВт и предназначены для отопления производственных зданий площадью до 35000 кв.м. Площадь изучаемого производственного здания – 6 480 кв.м. Котлы по типу используемого топлива являются газовыми, по типа устанавливаемых котлов – водогрейные, по категории надежности отпуска тепла – первой категории [4].

Разогрев котлов – нерегулируемый системой процесс, так как целью работы является разработка управляемого узла насоса системы отопления производственного здания. Управление котельной напрямую недопустимо в связи с тем, что котельная также подключена к системе горячего водоснабжения цеха и управление котельной может нарушить циркуляцию теплоносителя и изменить температуру горячей воды. Котельная расположена в отдельном помещении.

Для предотвращения перегрева котлов существует система отключения нагрева, также в котлах установлены погружные датчики температуры.

1.1.2 Тепловой вход в здание

Нагретый теплоноситель поступает в здание и по трубопроводу направляется по прямому коллектору. В не модернизированной системе регулирование происходит только при помощи задвижки, установленной после теплового входа в здание, что делает систему негибкой в целом и не экономичной.

1.1.3 Узел насоса

К асинхронному электродвигателю насоса будет подключен преобразователь частоты для плавного регулирования частоты вращения вала электродвигателя, который, в свою очередь, напрямую соединен с крыльчаткой насоса. Изменяя скорость вращения вала электродвигателя будет изменяться расход воды в трубопроводе, который напрямую влияет на мощность тепловой системы. Задание значения частоты вращения двигателя будет происходить через контроллер. На контроллер поступает разность сигналов двух внешних температурных датчиков: один снаружи здания и один внутри. На базе этого значения вычисляется требуемая общая мощность системы, через которую можно найти требуемый расход, напор и мощность электродвигателя. Таким образом, при помощи системы автоматического управления производится расчет скорости вращения вала двигателя в зависимости от разности температуры воздуха внутри и снаружи здания. Для вычисления желаемого расхода также будут использоваться накладные датчики. Характер вращения двигателя и показания датчиков отображаются на пульте управления.

1.1.4 Рассеивающий радиатор

Выход насосной станции напрямую соединен с узлом теплового элемента. Тепловым элементом является радиатор с вентилятором. Нагретая вода, находясь в радиаторе, отдает свое тепло в воздух. Этот процесс ускоряется установленным позади радиатора вентилятором. Таким образом, отопление не является точечным,

а тепло распределяется равномерно по всему производственному зданию. Необходимая температура воздуха поддерживается не только вблизи радиатора или гидролиний, но и во всем производственном здании.

Радиатор предназначен для прогрева помещения, за радиатором установлен вентилятор, ротор которого вращается с постоянной скоростью для избежания нарушения циркуляции нагретого воздуха по помещению.

1.1.5 Обратный коллектор

После прогрева помещения теплоноситель попадает в обратную ветвь системы. На трубопроводе обратного коллектора, как и на трубопроводе прямого, установлен накладной датчик температуры. Разность сигналов этих двух датчиков также поступает в систему управления и используется для вычисления расхода, что необходимо для урегулирования скорости вращения двигателя.

На пути обратного следования теплоносителя отсутствуют насосные станции, циркуляция производится по уже заданному образцу на прямой ветви естественным образом. Трубопроводы со всех радиаторов входят в обратный распределительный коллектор, где ветви объединяются и теплоноситель следует к тепловому выходу из здания.

На всем пути следования теплоносителя установлено множество датчиков давления и температуры для поддержания установленного теплового режима. Помимо датчиков на трубопроводах присутствуют клапаны и запорная арматура, предназначенная для перекрытия следования воды во время ремонтных работ.

На основе проектной документации была создана схема трубопроводов прямой и обратной ветвей индивидуального теплового пункта (Рисунок 1.2).

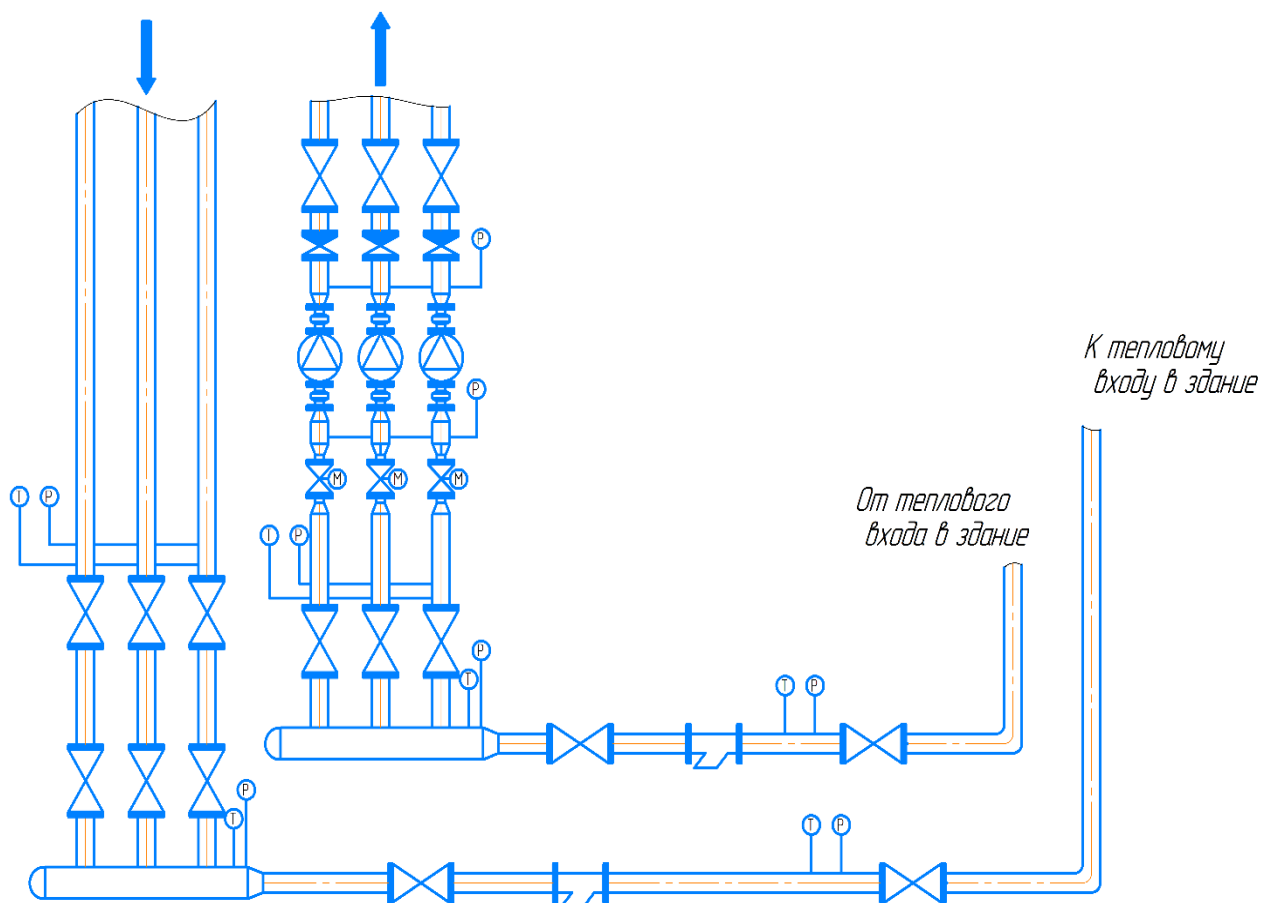


Рисунок 1.2 – Схема отопления производственного здания

Разрабатываемый привод установлен только на ветви прямого коллектора, циркуляция на обратном коллекторе осуществляется естественным образом

1.2 Характеристика и кинематическая схема проектируемого механизма

Источником теплоснабжения для центральных и индивидуальных тепловых пунктов служит теплофицированная вода с температурным графиком $+95^{\circ}\text{C}/+70^{\circ}\text{C}$

Давление в точке присоединения центрального теплового пункта – для прямого трубопровода $P_1 = 40,7$ м.в.ст., для обратного трубопровода $P_2 = 22,3$ м.в.ст..

Основными мероприятиями по энергосбережению в данном выпускном проекте являются: оптимальный выбор мощности электродвигателя насосной установки, а также использование частотно-регулируемого электропривода.

Прямая и обратная ветви отопительной системы (см. рисунок 1.2) расположены вертикально на стенах производственного здания.

В ходе работы была составлена схема системы с указанием расположения основных элементов и элементов системы управления (Рисунок 1.3).

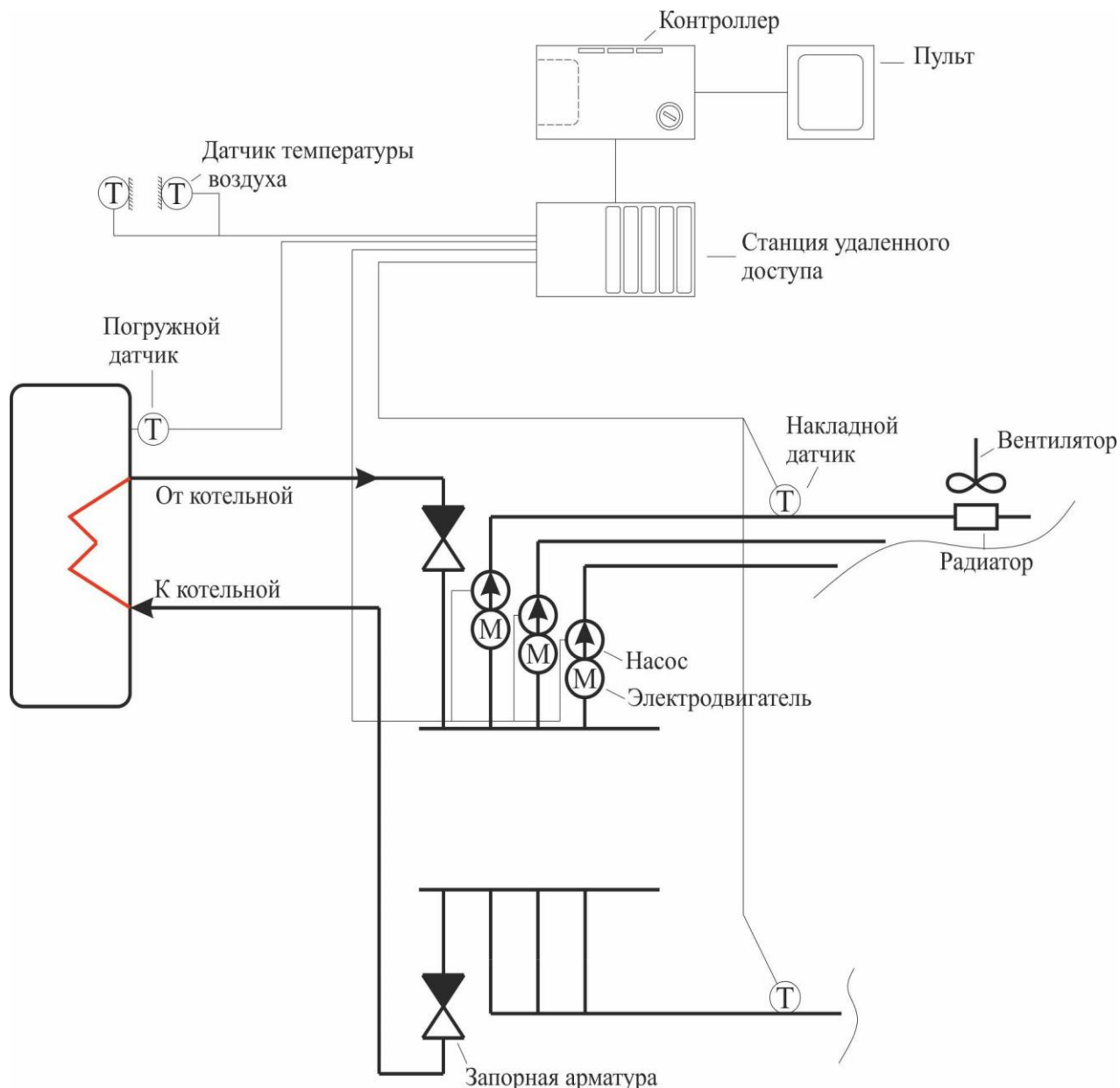


Рисунок 1.3 – Общий вид отопительного комплекса

На рисунке 1.3 изображен путь следования нагретого теплоносителя из котельной к прямому коллектору в упрощенном виде. На пути следования присутствует вспомогательная запорная арматура, изображенная лишь дважды в связи с упрощением схемы. Насос и электродвигатель являются смежными и составляют одну единицу основного оборудования. Все необходимые для расчетов данные приходят на станцию удаленного доступа системы автоматизации. Погружной датчик не имеет непосредственного отношения к модернизируемой системе, но используется для обеспечения дополнительной безопасности и показания этого датчика также поступают в контроллер и отображаются в панели управления оператора. В реальной системе присутствует множество датчиков давления и температуры, а также вспомогательной и функциональной запорной арматуры, клапанов. Для упрощения были изображены только те датчики, показания которых участвуют в расчетах, то есть: внешние и накладные датчики температуры. Непоказанные элементы запорной арматуры используются как для ремонта, так и для системы горячего водоснабжения.

В рассматриваемом технологическом процессе в одном индивидуальном тепловом пункте применяется 3 независимых насосных станции, каждая из которых управляется отдельно. Каждый из электродвигателей работает постоянно в сезон отопления с постоянной скоростью, но целью модернизации является разработка системы, способной сменить режим работы. Каждый из насосов будет сохранять в течение длительного периода времени постоянное давление и расход в пределах заданного режима.

Технологической координатой системы является разница температур внешних температурных датчиков. На основе этой координаты производятся вычисления и подбирается режим работы насосной станции, после чего на преобразователь частоты поступает задание от контроллера.

В системе используется циркуляционный насос производства Grundfos. Циркуляционные насосы – подвид центробежных, но специализированные для

поддержания циркуляции жидкости в системе. Из каталога продукции насосного оборудования Grundfos была предоставлена схема устройства насоса (Рисунок 1.4).

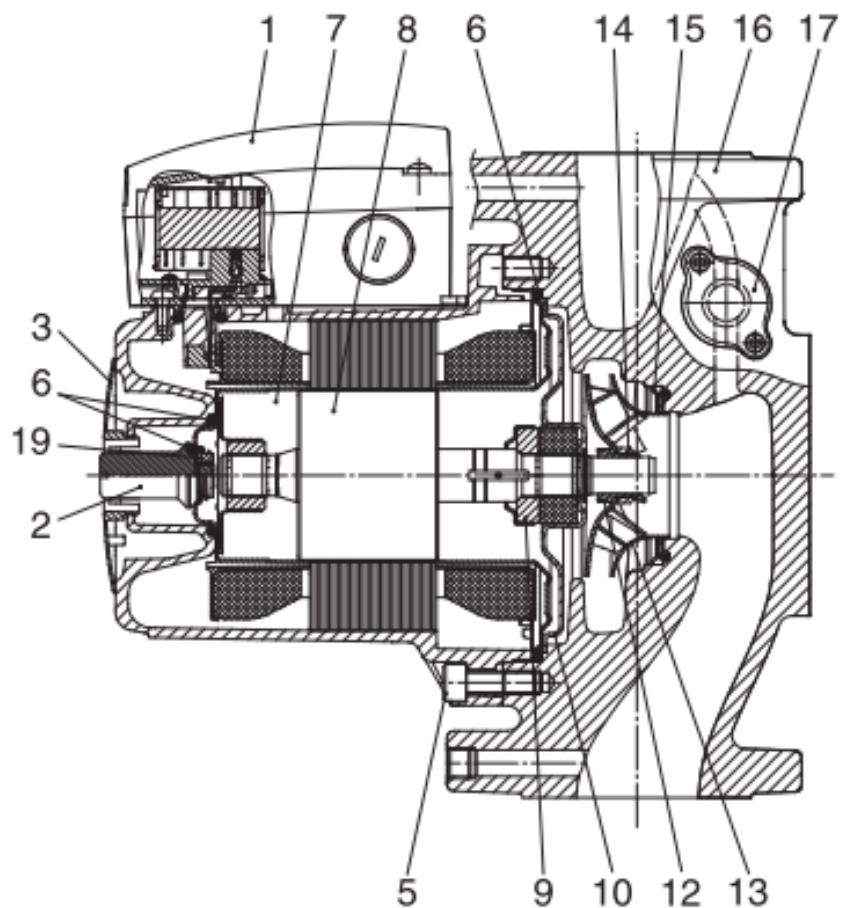


Рисунок 1.4 – Принципиальная схема устройства насоса: 1 – клеммная коробка, 2 – резьбовая пробка, 3 – фирменная табличка, 4 – корпус статора, 5 – винты, 6 – уплотнительное кольцо, 7 – наружное кольцо, 8 – вал, 9 – упорный подшипник, 10 – подшипниковая пластина, 11 – стопорное кольцо, 12 – разрезной конус, 13 – рабочее колесо, 14 – гайка, 15 – щелевое уплотнение, 16 – корпус насоса, 17 – гнездо разъема датчика, 18 – поворотная заслонка, 19 – кольцо для защиты от брызг

В корпусе насоса помещается рабочее колесо с лопатками. При вращении колеса двигателем жидкость, поступающая к центру колеса из заборного резервуара через всасывающий трубопровод и открытую задвижку, центробежной силой выбрасывается по лопаткам на периферию корпуса. В результате в центре рабочего колеса создается разрежение, жидкость засасывается в насос, снова выбрасывается и далее подается в напорный трубопровод. Таким образом, в системе при открытой задвижке создается непрерывное течение, и центробежный насос имеет равномерный ход [5].

На рабочем колесе имеются лопатки (лопасти). Жидкость подходит к рабочему колесу вдоль оси его вращения, затем направляется в межлопаточный канал и попадает в отвод. Отвод предназначен для сбора жидкости, выходящей из рабочего колеса, и преобразования кинетической энергии потока жидкости в потенциальную энергию, в частности в энергию давления. Указанное выше преобразование энергии должно происходить с минимальными гидравлическими потерями, что достигается специальной формой отвода.

По имеющимся данным по приводу была составлена простая кинематическая схема, включающая в себя только электродвигатель и насоса (Рисунок 1.5).

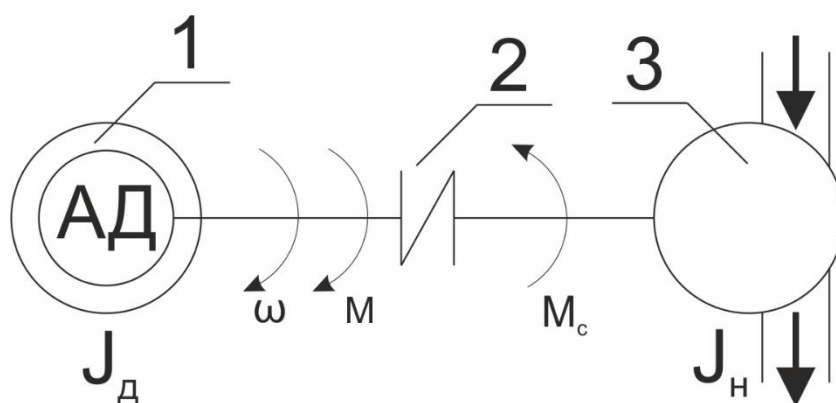


Рисунок 1.5 – Кинематическая схема электропривода

На рисунке приняты следующие обозначения:

- 1 – Асинхронный электродвигатель;
- 2 – Муфта;
- 3 – Насос.

Исходя из этого можно сделать вывод – система является одномассовой. Одномассовую модель электропривода можно представить в следующем виде (Рисунок 1.6):

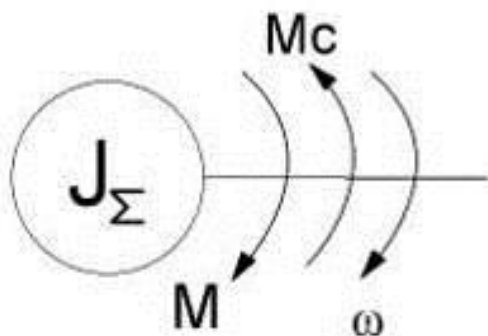


Рисунок 1.6 – Одномассовая модель электропривода

Предъявим требования к приводу и системе автоматизации для дальнейшей разработки

1.3 Требования к приводам и системе автоматизации

Насосы являются механизмами с режимом длительной нагрузки с малым числом включений и большим количеством часов работы в году. Нагрузка на валу приводного двигателя спокойная, без перегрузок. Электропривод должен нормально функционировать в условиях повышенной влажности и относительно высоких температур, а также иметь максимально возможные показатели надежности. В этих условиях предпочтительным является применение асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором (АДКЗ), получающего питание от преобразователя частоты (ПЧ). АДКЗ отличается простотой, надежностью, отсутствием контактных соединений (щеток), дешевизной, а ПЧ позволяет добиться достаточно точного регулирования скорости

АДКЗ, и, конечно, сбережения энергоресурсов. Также необходимо обеспечить функцию переключения режимов.

Требования к системе определяются исходя из технологического процесса. К приводу следует применить следующие требования [6]:

- наиболее экономичный способ регулирования для снижения затрат на энергоресурсы;
- обеспечение необходимых характеристик потока теплоносителя (расход, напор) при максимально экономичном приводе;
- необходимый диапазон регулирования скорости;
- линейный закон изменения скорости во время пуска;
- торможение выбегом;
- климатическое исполнение УХЛ4;
- степень защиты не менее IP44;
- в случае выхода из строя ПЧ перейти в режим нерегулируемого насоса (байпасный режим включения);
- перегрузочная способность не ниже 1,5.

Автоматизация производственных установок позволяет более быстро и точно воспроизводить технологический процесс. К системе автоматизации следует предъявить следующие требования [7]:

- плавный пуск насосного агрегата и разгон до заданной скорости;
- стабилизация необходимого напора жидкости в системе за счет регулирования скорости вращения электродвигателя;
- перерегулирования не более 20 %, время регулирования привода в течение нескольких секунд;
- контроль минимального, максимального и аварийного расхода.

К системе не предъявляются строгие требования высокого быстродействия, так как система не является производственной.

Также требуется наличие встроенных в электропривод датчиков с обратной связью.

1.4 Выбор системы привода

Для мехатронной системы управления насосным узлом системы отопления производственного здания будет использоваться простой электропривод, представляющий из себя жестко соединенный с валом электродвигателя насос. Так как требования к быстродействию не предъявляются, а от системы требуется только выполнение своей основной функции. Из этого следует, что наиболее предпочтительным вариантом будет экономичный и простой привод. Узел насоса оснащен асинхронным двигателем переменного тока, скорость вращения которого плавно регулируется при помощи частотного преобразователя. В связи с преимуществами асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в составе насосных узлов, асинхронный двигатель с фазным ротором, присутствующий в приводе будет заменен на иной тип двигателя. Частотный преобразователь состоит из выпрямителя, преобразующего переменный ток промышленной частоты в постоянный, и инвертора с ШИМ, преобразующего постоянный ток в переменный желаемой частоты. Узел насоса также включает в себя дроссели и фильтры. Вращение двигателя передается на ротор насоса, и, в зависимости от скорости ротора меняется расход в трубопроводе. Расход воды непосредственно влияет на выделение тепловой энергии [8].

$$Q = \frac{(T_1 - T_2) \cdot q}{860} \quad (1)$$

где Q – отбор тепла, ГКал;

T_1 и T_2 – температура воды в прямой и обратной ветвях соответственно, °С;

q – расход воды, м³/ч.

Переключение режимов происходит на панели управления. На панели управления также имеются показатели датчиков, установленных по всей системе отопления. Данные включают в себя: температуру воздуха, температуру теплоносителя, давление в каждой ветви гидросистемы, состояние (включен или отключен) насоса, предупреждения о неисправности насоса, если таковые имеются, состояние вентилятора.

Основными датчиками в системе являются внешние датчики температур, расположенные внутри с снаружи помещения. Система привода отображена на рисунке 1:

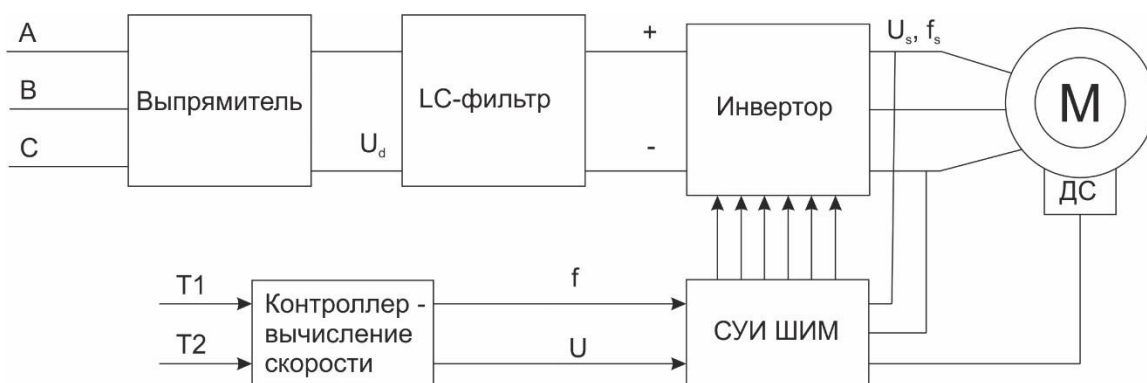


Рисунок 1.7 – Система привода узла насоса

Для повышения качества управления, ослабления отрицательного влияния используется фильтрующее устройство, представляющее собой элемент с нелинейной функцией. В процессе функционирования создаются нежелательные высшие гармоники, которые в совокупности с индуктивностью проводов приводят к ослаблению помехоустойчивости системы. С целью обеспечения стабильной работоспособности в систему привода вводится сетевой фильтр. В схеме преобразователя частоты присутствует LC фильтр, необходимый для подавления нежелательных спектров сигнала и выделения нужных. Выпрямитель на тиристорах и активный инвертор на транзисторах – стандартные составляющие

преобразователя частоты. На силовой схеме также будет указано защитное реле. Силовая схема показана на рисунке 1.8:

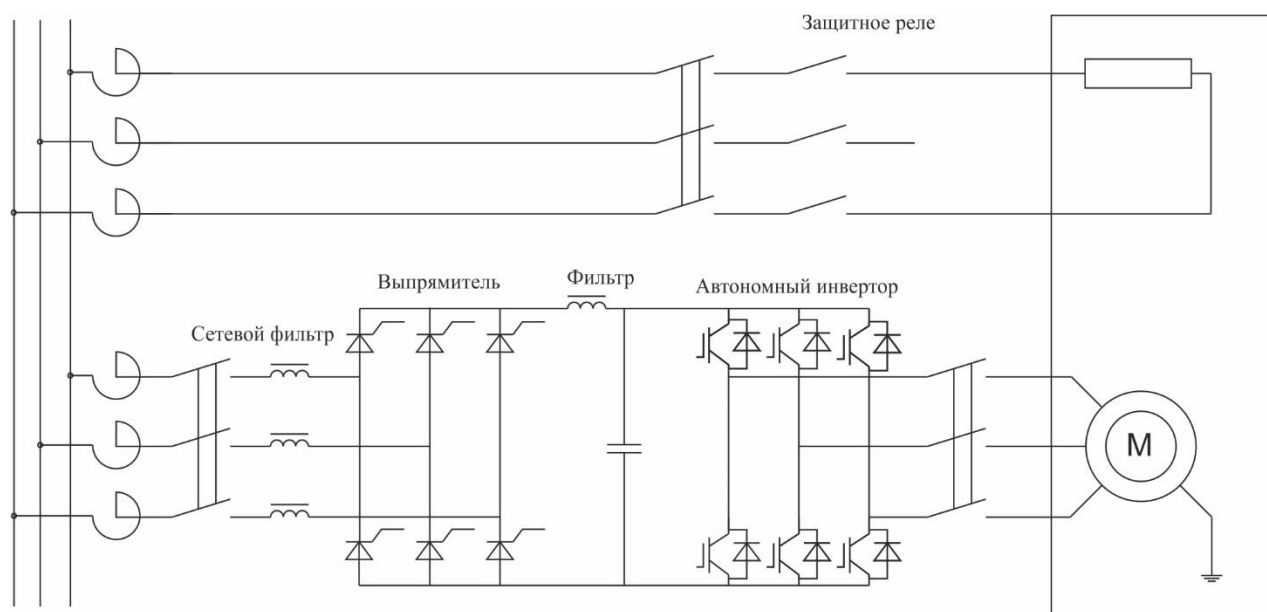


Рисунок 1.8 – Силовая схема привода

В данной силовой схеме отображено строение частотного преобразователя и защитное реле в качестве защиты привода.

1.5 Расчет и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы привода

Для построения диаграммы и тахограммы необходимо определить параметры двигателя. В данной системе как нагрузочная диаграмма, так и тахограмма в установившемся режиме работы системы будут представлять собой прямые линии, так как основной задачей узла насоса является поддержание относительно постоянных значений. Изменения тахограммы и нагрузочной диаграммы, равно, как и появление динамических моментов не представляют интереса, так как скорость перехода узла насоса из одного режима в другой оказывает пренебрежимо малое влияние на выполнение системой ее основной функции.

Вся система в целом преобразует электрическую энергию котельной и вращательное движение насоса в движение теплоносителя, которое в свою очередь, преобразуется в тепловую энергию. Для управления системой изменяется

подаваемое к двигателю напряжение и частота. В передаче вращения от двигателя к крыльчатке насоса не используется механических передач.

1.5.1 Расчет насоса

Основным элементом насосной станции является сам насос. Основные параметры для выбора насоса – требуемый расход и напор в трубопроводе [9]. Необходимые для расчетов параметры системы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры помещения и трубопровода

Диаметр трубопровода	100 мм
Длина наиболее протяженного участка	1100 мм
Объем помещения	142560 м ³

Коэффициент тепловых потерь здания берется из табличных значений теплового расчета производственных зданий различного типа, в данном случае значение $K \approx 0.2$

Мощность отопительной системы рассчитывается по формуле (2).

$$Q_t = \frac{V \cdot \Delta T \cdot K}{860} \quad (2)$$

где ΔT – основная технологическая координата, °С;

V – объем рассматриваемого помещения, м³;

Значение варьируется от 1°С до 50°С.

Знаменатель выражения требуется для перевода полученного значения в кВт/час для удобства подбора оборудования, которое войдет в систему отопления.

Произведем вычисления взяв $\Delta T = 50^\circ\text{C}$

$$Q_t = \frac{V \cdot \Delta T \cdot K}{860} = 1657,674 \text{ кВт}$$

По найденной максимальной требуемой мощности системы отопления $Q_{t \max}$ найдем требуемой максимальной расход насоса по формуле (3).

$$q = \frac{Q_t}{C_p \cdot \Delta t} \quad (3)$$

где C_p – удельная теплоемкость воды. $C_p = 4,19 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$

Значение Δt – разность температур на тепловых входе и выходе из здания, то есть – на прямом и обратном коллекторах. $\Delta t = 20^\circ\text{C}$ исходя из стандартов системы отопления и законов циркуляции теплоносителя в системе [10].

$$q = \frac{Q_t}{C_p \cdot \Delta t} = \frac{1657,674}{20 \cdot 4,19} = 18,781 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Максимальный требуемый напор для циркуляционного насоса рассчитывается без учета характера движения теплоносителя по формуле (4).

$$H_{\max} = \frac{R \cdot L \cdot ZF}{10000} \quad (4)$$

где R – потери на трение в трубопроводе, принятое за 100 Па/м ;

L – наиболее протяженный участок трубопровода, м;

ZF – коэффициент для запорной арматуры.

Коэффициент запорных устройств – табличное значение, на пути от прямого коллектора до входа в узел насоса присутствует только один запорный клапан, предназначенный для ремонта. В связи с этим коэффициент принимает малое значение и составляет $ZF = 0,8$.

Как видно из выражения (4), максимальный требуемый напор зависит только от параметров трубопровода, которые не могут измениться во время рабочего цикла, следовательно, при расчете всех режимов значение напора будет постоянным.

Рассчитаем требуемый от насоса напор:

$$H_{\max} = \frac{R \cdot L \cdot ZF}{10000} = 8,8$$

По сделанным расчетам произведем выбор насоса. В данной системе установлен циркуляционный насос с мокрым ротором модели UPS40-120f произведенный Grundfos. Полученное значение напора удовлетворяет условию для выбора насоса по напору:

$$H_n \geq H_p \quad (5)$$

где H_n – паспортный напор насоса, м;

H_p – рассчитанный напор, м.

$$9 \geq 8,8$$

Рассчитанное значения напора меньше номинального, что говорит о правильности выбранного насоса. Правильность выбора насоса следует проверить по второму основному фактору выбора – по расходу:

$$Q_H \geq Q_p \quad (6)$$

где Q_H – номинальный максимальный расход насоса, м³/ч;

Q_p – рассчитанный расход для максимальной разницы температур, м³/ч.

$$19 \geq 18,8$$

Все условия для выбора насоса были выполнены. Основные рассчитанные параметры насоса, такие как расход и напор, соответствуют номинальным у Grundfos UPS40-120f, но так как насос и электродвигатель являются неразделимым узлом, то встает необходимость подбора уже собранного узла насоса с частотным преобразователем, следовательно, Grundfos UPS40-120f не соответствует требованиям. Сборка узла насоса со сторонним двигателем и частотным преобразователем является чрезмерно трудоемким процессом и требует больших затрат, другой вариант реализации модернизации – изготовление насоса на заказ, что не является экономически выгодным.

Расчет всех трех составляющих насоса откроет возможность подобрать наиболее подходящий узел частотно-управляемого насоса. Этими частями являются: насос с его основными показателями – напором и расходом, электродвигатель, для которого основными показателями являются мощность, скорость вращения и допустимый момент и частотный преобразователь.

1.5.2 Расчет и подбор электродвигателя

Насос подобного типа должен быть оснащен асинхронным электродвигателем. В связи с преимуществами использования асинхронного электродвигателя с фазным ротором будет производиться подбор двигателя именно такого типа. За основной параметр примем выходную мощность. Рассчитаем требуемую

выходную мощность двигателя с целью вычисления параметров, необходимых для подбора узла насоса. Произведем расчеты по формуле (7).

$$P = \frac{k \cdot \gamma \cdot q \cdot H}{3600 \cdot \eta_n \cdot \eta_p} \quad (7)$$

где k – коэффициент запаса, кг/м³;

γ – удельный вес перекачиваемой воды;

η_n – КПД насоса;

η_p – КПД передачи.

КПД передачи равен единице, так как двигатель и насос соединены жестко и не имеют каких-либо механических передач между собой. Для расчета будут взяты максимально возможные показатели расхода и напора.

$$P = \frac{k \cdot \gamma \cdot q \cdot H}{3600 \cdot \eta_n \cdot \eta_p} = \frac{1,5 \cdot 9810 \cdot 18,8 \cdot 8,8}{3600 \cdot 0,8 \cdot 1} = 847 \text{ (Вт)}$$

Значение коэффициента запаса было принято как $k = 1,5$, значение КПД было взято как среднее для всего класса насосов [12].

Так как подбираемый насос не будет иметь критических конструктивных отличий от используемого Grundfos UPS40-120f, то для расчетов возьмем максимальную скорость уже установленного насоса, которая составляет:

$$n_{\max} = 3000 \text{ об/мин}$$

Максимальную угловую скорость электродвигателя возможно определить по формуле (8).

$$\omega_{\max} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\max}}{60 \cdot p} \quad (8)$$

где p – число пар полюсов.

Число пар полюсов для $n_{\max} = 3000$ об/мин составляет значение $p = 1$. В формуле присутствует коэффициент перевода из минут в секунды. По выражению (8) максимальная угловая скорость будет составлять:

$$\omega_{\max} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\max}}{60 \cdot p} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ рад/с}$$

Значение скорости было вычислено без учета скольжения в электродвигателе, в связи с малым влиянием этого фактора на общее функционирование системы. Отношение мощности и угловой скорости для данной мощности составляют момент (9).

$$M_{\max} = \frac{P_{\max}}{\omega_{\max}} \quad (9)$$

Для большей наглядности в ходе выполнения выпускной квалификационной работы будет произведен расчет характеристик двигателя для каждого из режимов работы. Момент при максимальных угловой скорости и мощности равен:

$$M_{\max} = \frac{P_{\max}}{\omega_{\max}} = \frac{847}{314} = 2,7 \text{ Нм}$$

Таким образом – все расчеты для подбора оборудования были произведены.

1.5.3 Построение рабочей характеристики и расчет нагрузок

Для мехатронной системы управления отоплением возможно определить значение скорости и момента электродвигателя для каждого значения разницы температур.

Для всех параметров работы насосной станции справедливы пропорциональные равенства. Равенство для расхода представлено в выражении (10) [13].

$$\frac{Q_p}{Q_{\max}} = \frac{\omega_p}{\omega_{\max}} \quad (10)$$

Исходя из этого произведем расчет значения рабочей угловой скорости от рассчитанного значения расхода:

$$\omega_p = \frac{\omega_{\max} \cdot Q_p}{Q_{\max}} = \frac{314 \cdot 18,48}{18,8} = 307,72 \text{ рад/с}$$

Расчет рабочего напора для рабочей скорости производится по равенству, идентичному выражению (10). Равенство отношений напора представлено в выражении (11).

$$\frac{H_p}{H_{\max}} = \frac{\omega_p}{\omega_{\max}} \quad (11)$$

Рассчитаем значения напора для рабочей точки на основании максимально возможного расчетного напора:

$$H_p = \frac{H_{\max} \cdot \omega_p}{\omega_{\max}} = \frac{8,8 \cdot 307,72}{314} = 8,624 \text{ м}$$

Проделанные по формулам (2-4, 7-11) при помощи Microsoft Excel расчеты сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – характеристики насосного узла при разных режимах работы.

ΔТ, °С	Q _t , кВт	q, м ³ /ч	Н, м	Р, Вт	ω, рад/с	n, об/мин	М, Нм
0	0	0	0	0	0	0	0
1	31,68	0,38	0,18	0,34	6,28	60	0,05
2	63,36	0,75	0,35	1,36	12,56	120	0,11
3	95,04	1,13	0,53	3,05	18,84	180	0,16
4	126,72	1,51	0,70	5,43	25,12	240	0,22
5	158,40	1,89	0,88	8,48	31,40	300	0,27
6	190,08	2,26	1,06	12,21	37,68	360	0,32
7	221,76	2,64	1,23	16,62	43,96	420	0,38
8	253,44	3,02	1,41	21,71	50,24	480	0,43
9	285,12	3,39	1,58	27,47	56,52	540	0,49
10	316,80	3,77	1,76	33,91	62,80	600	0,54
11	348,48	4,15	1,94	41,04	69,08	660	0,59
12	380,16	4,53	2,11	48,84	75,36	720	0,65
13	411,84	4,90	2,29	57,32	81,64	780	0,70
14	443,52	5,28	2,46	66,47	87,92	840	0,76
15	475,20	5,66	2,64	76,31	94,20	900	0,81
16	506,88	6,03	2,82	86,82	100,48	960	0,86
17	538,56	6,41	2,99	98,01	106,76	1020	0,92
18	570,24	6,79	3,17	109,88	113,04	1080	0,97
19	601,92	7,17	3,34	122,43	119,32	1140	1,03
20	633,60	7,54	3,52	135,66	125,60	1200	1,08
21	665,28	7,92	3,70	149,56	131,88	1260	1,13
22	696,96	8,30	3,87	164,15	138,16	1320	1,19
23	728,64	8,67	4,05	179,41	144,44	1380	1,24
24	760,32	9,05	4,22	195,35	150,72	1440	1,30
25	792,00	9,43	4,40	211,97	157,00	1500	1,35
26	823,68	9,81	4,58	229,26	163,28	1560	1,40
27	855,36	10,18	4,75	247,24	169,56	1620	1,46

Продолжение таблицы 2

28	887,04	10,56	4,93	265,89	175,84	1680	1,51
29	918,72	10,94	5,10	285,22	182,12	1740	1,57
30	950,40	11,31	5,28	305,23	188,40	1800	1,62
31	982,08	11,69	5,46	325,92	194,68	1860	1,67
32	1013,76	12,07	5,63	347,29	200,96	1920	1,73
33	1045,44	12,45	5,81	369,33	207,24	1980	1,78
34	1077,12	12,82	5,98	392,05	213,52	2040	1,84
35	1108,80	13,20	6,16	415,45	219,80	2100	1,89
36	1140,48	13,58	6,34	439,53	226,08	2160	1,94
37	1172,16	13,95	6,51	464,29	232,36	2220	2,00
38	1203,84	14,33	6,69	489,73	238,64	2280	2,05
39	1235,52	14,71	6,86	515,84	244,92	2340	2,11
40	1267,20	15,09	7,04	542,63	251,20	2400	2,16
41	1298,88	15,46	7,22	570,10	257,48	2460	2,21
42	1330,56	15,84	7,39	598,25	263,76	2520	2,27
43	1362,24	16,22	7,57	627,08	270,04	2580	2,32
44	1393,92	16,59	7,74	656,59	276,32	2640	2,38
45	1425,60	16,97	7,92	686,77	282,60	2700	2,43
46	1457,28	17,35	8,10	717,63	288,88	2760	2,48
47	1488,96	17,73	8,27	749,17	295,16	2820	2,54
48	1520,64	18,10	8,45	781,39	301,44	2880	2,59
49	1552,32	18,48	8,62	814,29	307,72	2940	2,65
50	1584,00	18,86	8,80	847,86	314,00	3000	2,70

Таким образом, были выведены все параметры работы привода и проведена связь от разницы температур до момента на валу электродвигателя. От температуры был выведено выражение тепловой мощности, из которого вывели основные параметры насоса: расход и напор. По напоро-расходным характеристикам была выведена выходная мощность электродвигателя.

По данным таблицы 2 были построены основные зависимости характеристик насосной станции. Зависимость скорости вращения вала двигателя от разницы температуры представлена на рисунке 1.9.

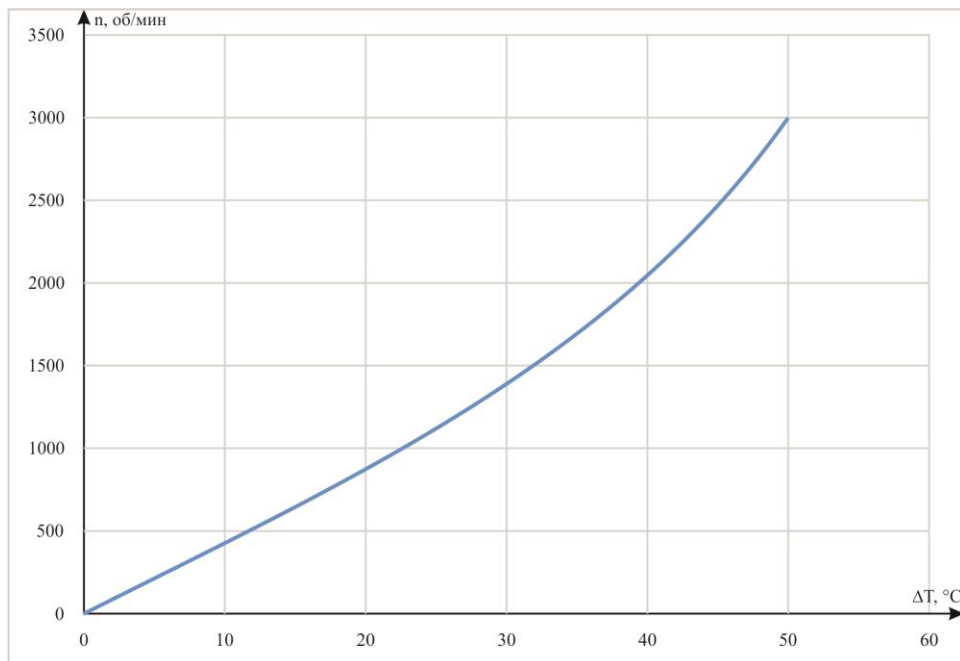


Рисунок 1.9 – График рассчитанной зависимости скорость вращения вала от разницы температур

По тем же данным была построена главная рабочая характеристика привода (Рисунок 1.10).

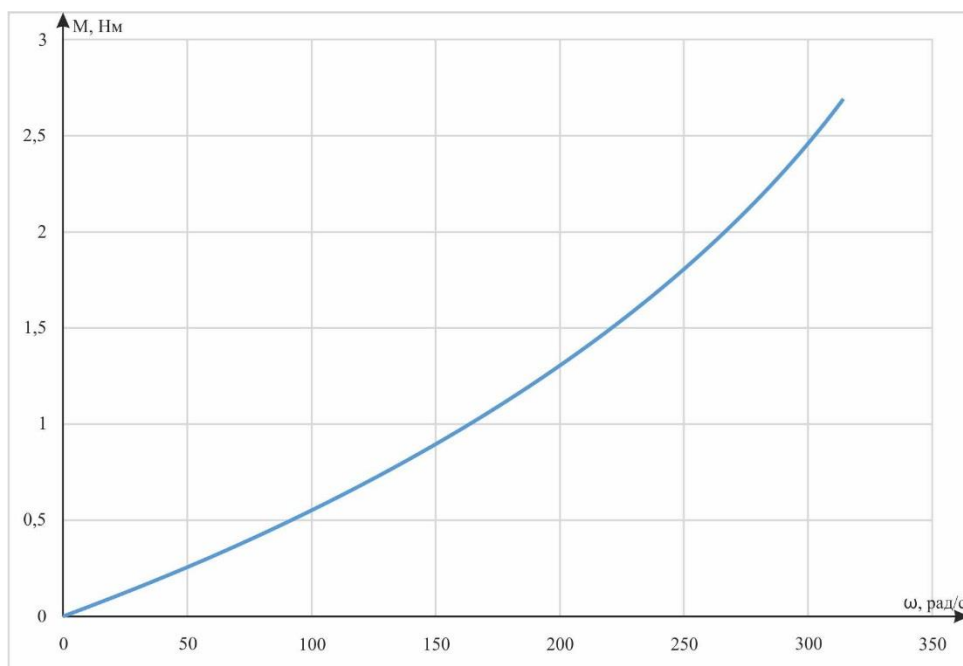


Рисунок 1.10 – Рассчитанная рабочая характеристика насоса в виде $M = f(\omega)$

В таблице 2 даны рассчитанные значения статического момента на валу двигателя. По найденным значениям скорости вращения вала двигателя и статическому моменту сопротивления, который необходимо преодолеть двигателю, поддерживая определенные значения напора и расхода, были построены тахограмма и нагрузочная диаграмма, который показаны на рисунке 1.11. Тахограмма и нагрузочная диаграмма построены для демонстрации изменения характера вращения двигателя узла насоса в течение суток во время зимнего периода. Приведенный суточный температурный режим приблизительно соответствует среднему февральскому дню.

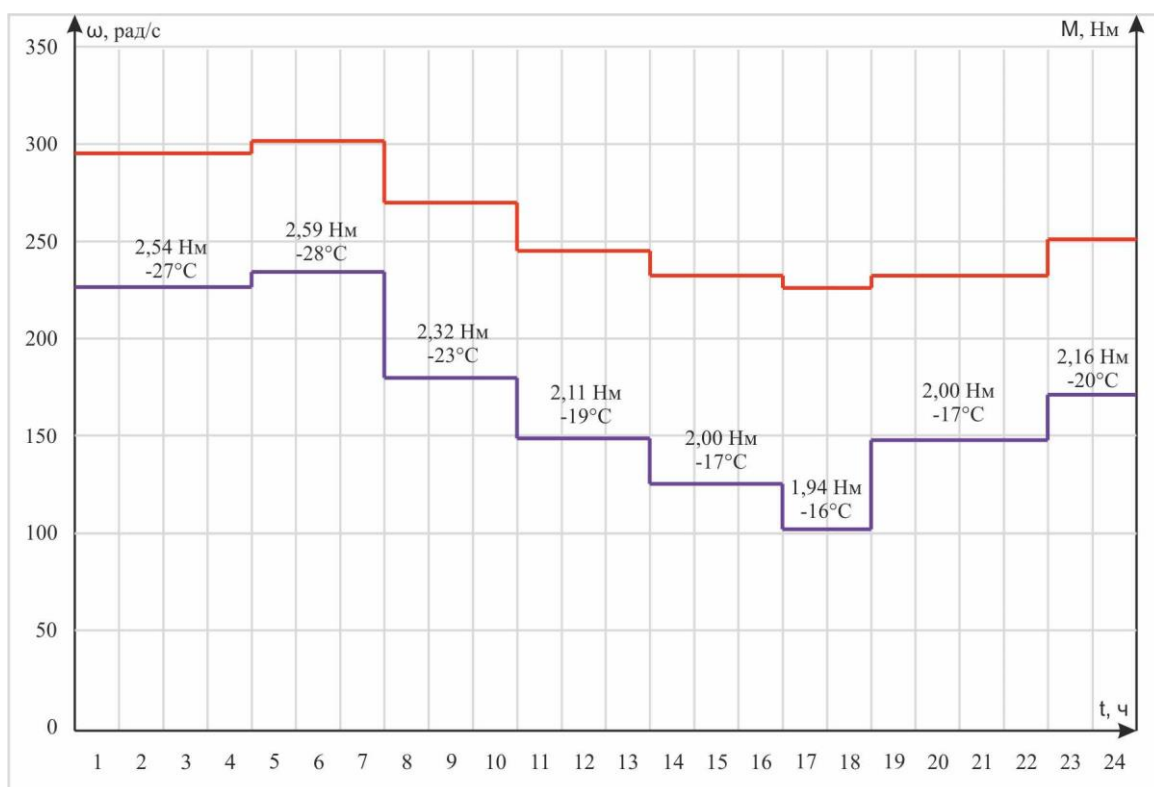


Рисунок 1.11 – Тахограмма и нагрузочная диаграмма

В установившемся режиме (при отсутствии изменения температуры) нагрузочная диаграмма представляет из себя прямую линию, что связано со

спецификой работы привода – он должен сохранять относительно постоянную скорость вращения, чтобы поддерживать давление в системе. Время работы привода является продолжительным и неограниченным. Расчет параметров разгона и торможения не был произведен, как и расчеты динамических моментов за ненадобностью. Диаграмма будет иметь вид прямой линии при любом режиме работы системы.

1.6 Выбор основного силового оборудования

В данном узле применяется частотный преобразователь с автономным инвертором напряжения (см. рисунок 1.8). В таких преобразователях частоты переменное напряжение выпрямляется с начальной частотой; выпрямленное напряжение проходит через фильтр и инвертируется автономным инвертором напряжения и становится переменным с требуемой частотой и амплитудой. Энергия преобразуется однократно, что повышает КПД преобразователя частоты. Также присутствует возможность обмена энергией между питанием и двигателем. От привода требуется только один тип торможения.

Существуют условия подбора преобразователей частоты:

$$I_{\max\text{ДВ}} \geq I_{\max\text{ПЧ}} \quad (12)$$

$$I_{\text{нДВ}} \geq I_{\text{нПЧ}} \quad (13)$$

где $I_{\max\text{дв}}$ – максимальный ток двигателя, А;

$I_{\max\text{пч}}$ – максимальный ток преобразователя частоты, А;

$I_{\text{ндв}}$ – номинальный ток двигателя, А;

$I_{\text{нпч}}$ – номинальный ток преобразователя частоты, А.

Для управлением скоростью вращения двигателя будет использоваться частотный преобразователь. Оборудование подбирается цельным узлом,

включающим в себя и насос, и двигатель, и преобразователь частоты. Расчет требуемых параметров насоса и двигателя уже был произведен, поэтому можно приступить к выбору комплексного узла. Необходимость подбирать преобразователь отсутствует, так как подобные узлы конструируются уже с учетом условий, приведенных в выражениях (12) и (13).

На основании проделанных расчетов была выбрана насосная станция модели TPE 32 производства Grundfos со встроенным частотным преобразователем (Рисунок 1.12).



Рисунок 1.12 – Внешний вид насоса Grundfos TPE 32

Технические характеристики насосной станции были разделены на три составные части и представлены в таблице 3 [14].

Таблица 3 – технические характеристики насосной станции

Наименование, обозначение	Размерность	Величина/параметр
Характеристики насоса		
Максимальный расход, Q_{\max}	$\text{м}^3/\text{ч}$	19

Продолжение таблицы 3

Максимальный напор, H_{\max}	м	9
Номинальное давление, P_H	бар	15
Характеристики электродвигателя		
Номинальное число оборотов, n_H	об/мин	2900
Скольжение, s	-	3%
Номинальная мощность, P_H	кВт	1,1
Частота, f	Гц	50
Напряжение, U_H	В	220
КПД, η	-	87 %
Номинальный момент вращения, M_H	Нм	2,8
Характеристика мощности, $\cos\phi$	-	0,81
Номинальный ток, I	А	3,5
Момент инерции, $J_{\text{дв}}$	кг·м ²	0,081
Характеристики преобразователя частоты		
Входное напряжение, U	В	200...240
Частота, f	Гц	50/60
Мощность двигателя, P	кВт	1,5
Полная мощность преобразователя, $P_{\text{пч}}$	кВт	0,5
Номинальный ток, $I_{\text{н пч}}$	А	4
Режим управления	-	Синусоидальная ШИМ (управление U/f)
Диапазон управления по частоте	Гц	от 1 до 200

Все характеристики выбранного оборудования превышают или равны расчетным значениям. Характеристика насоса приведена на рисунке 1.13.

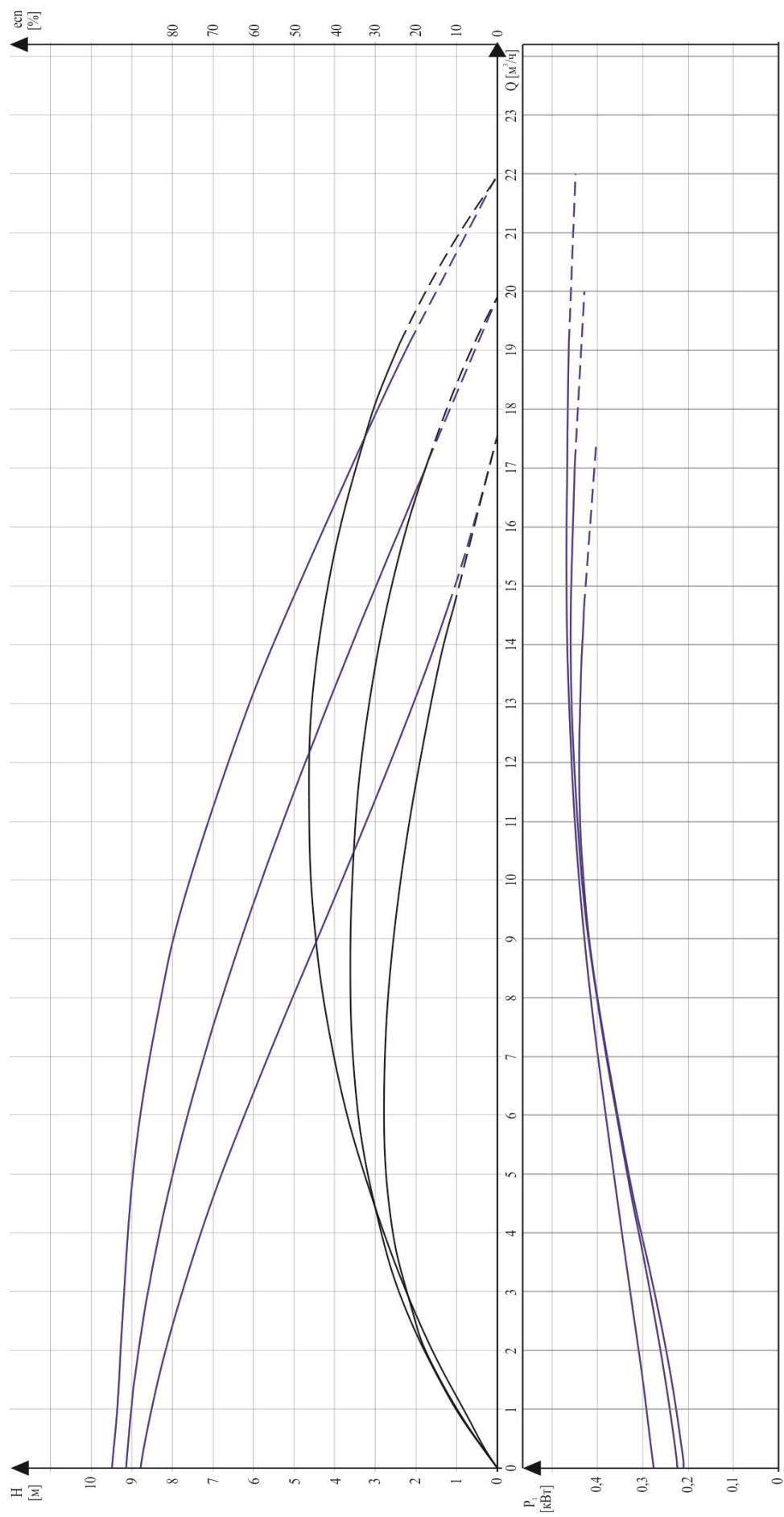


Рисунок 1.13 – Напор, КПД и мощность насосной станции как функции расхода для трех режимов

На рисунке 1.13 отображены только 3 рабочие характеристики насосной станции. Выбранный насос имеет 10 степеней регулирования, соответственно приходящиеся на каждые 10 % задействованной мощности. Главный параметр любого центробежного насоса – напор, но в разрабатываемом проекте предназначением установки является подача воды в радиатор и обеспечение циркуляции теплоносителя по тепловой сети. Рабочие характеристики представляются более жесткими, чтобы обеспечить режим работы с максимальным расходом и напором. Характеристики мощности представлены для режимов работы на низких скоростях вращения крыльчатки насоса.

В данном разделе подведем итог проделанных расчетов. По сделанным вычислениям открывается возможность построить математическую модель, для того, чтобы увидеть выходные характеристики системы и привода, в частности. В качестве выбранного оборудования был приведен консольный слитный и нераздельный узел циркуляционного насоса, частотного преобразователя и асинхронного электродвигателя.

1.7 Защиты привода

Надежная и бесперебойная работа электродвигателей обеспечивается в первую очередь надлежащим выбором их по номинальной мощности, режиму работы и форме исполнения.

Защита от коротких замыканий отключает двигатель при появлении в его силовой (главной) цепи или в цепи управления токов короткого замыкания. Осуществляется посредством автоматических выключателей.

Защита электродвигателей от коротких замыканий и перенапряжений в главной силовой цепи осуществляется автоматическим выключателем 3VL1706-1DA33-0AB1 SIEMENS.

Для защиты привода применяется электронное реле FANEX. Электронные реле защиты электродвигателей насосов измеряют потребляемый двигателем ток. Токи измеряются тремя токовыми трансформаторами, значения используются для

создания тепловой модели электродвигателя и сравнения их со значениями токов, установленными на реле. Технические характеристики реле защиты насосов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – характеристики защитного реле

Модель	P47
Степень защиты	IP46
Потребляемая энергия	2.5 ВА
Напряжение питания	24 В
Тип напряжения	АС
Частота	50 Гц
Классы срабатывания	10-20-30

Немаловажной частью защиты привода насоса является техническое исполнение его элементов, которое делается с учетом различных климатических факторов, факторов условий работы, среды и перекачиваемой жидкости.

Все подобранные элементы разработаны специально для работы с водой и имеют режим работы по температуре от -40°C до $+100^{\circ}\text{C}$ как минимум. Минимальная степень защиты выбранного оборудования IP46, что соответствует требованиям, предъявленным к приводу в разделе 1.3. Степень IP46 подразумевает, что привод будет защищен от твердых объектов не меньше 1мм и от струй жидкости, падающих под любым углом [15].

Климатическое исполнение выбранных элементов соответствует уровню УХЛ3, что является более высоким уровнем защиты, по сравнению с УХЛ4, так как в отличие от последнего, УХЛ3 защищает от более высокой концентрации пыли.

Все данные о конструкции оборудования соответствуют требованиям, предъявляемым к приводу.

2 РАЗРАБОТКА САУ

2.1 Разработка архитектуры систем автоматизации

Автоматизированная система отопления регулируется контроллером и комплексом датчиков и моторных электроприводов, информация о которых будет представлена ниже.

Система получает данные посредством датчиков температуры трёх типов: накладной датчик, присоединяющийся непосредственно к тепловой линии с внешней стороны; погружной датчик, оценивающий температуру воды в котельной; датчик температуры воздуха, крепящийся вблизи рабочего места производственного здания, что позволяет оценить качество условий работы для персонала.

Представленная архитектура автоматизации по многим показателям соответствует стандартной архитектуре предприятий, где на высшем уровне предприятия регулируется общая деятельность предприятия, глобальные финансовые и стратегические решения. Более низкий уровень отвечает за решения, принимаемые на уровне цеха, на этом уровне прослеживается информация о производственной деятельности цеха: объем производства, информация о рабочих станках и линиях в цеху. Уровень технологических серверов предприятия имеет непосредственное отношение к разрабатываемому приводу. От уровня технологических серверов вниз идут контроллеры. Программа для реализации работы мехатронного узла загружена в контроллер, прямой доступ к контроллеру затруднен большими расстояниями, поэтому используется станция удаленного доступа. Полевой уровень содержит в себе датчики исполнительные механизмы. Для обеспечения наглядности схемы архитектуры консольный узел насоса был разделен на составляющие части. Общий вид архитектуры автоматизации представлен на рисунке 2.1 [16]:

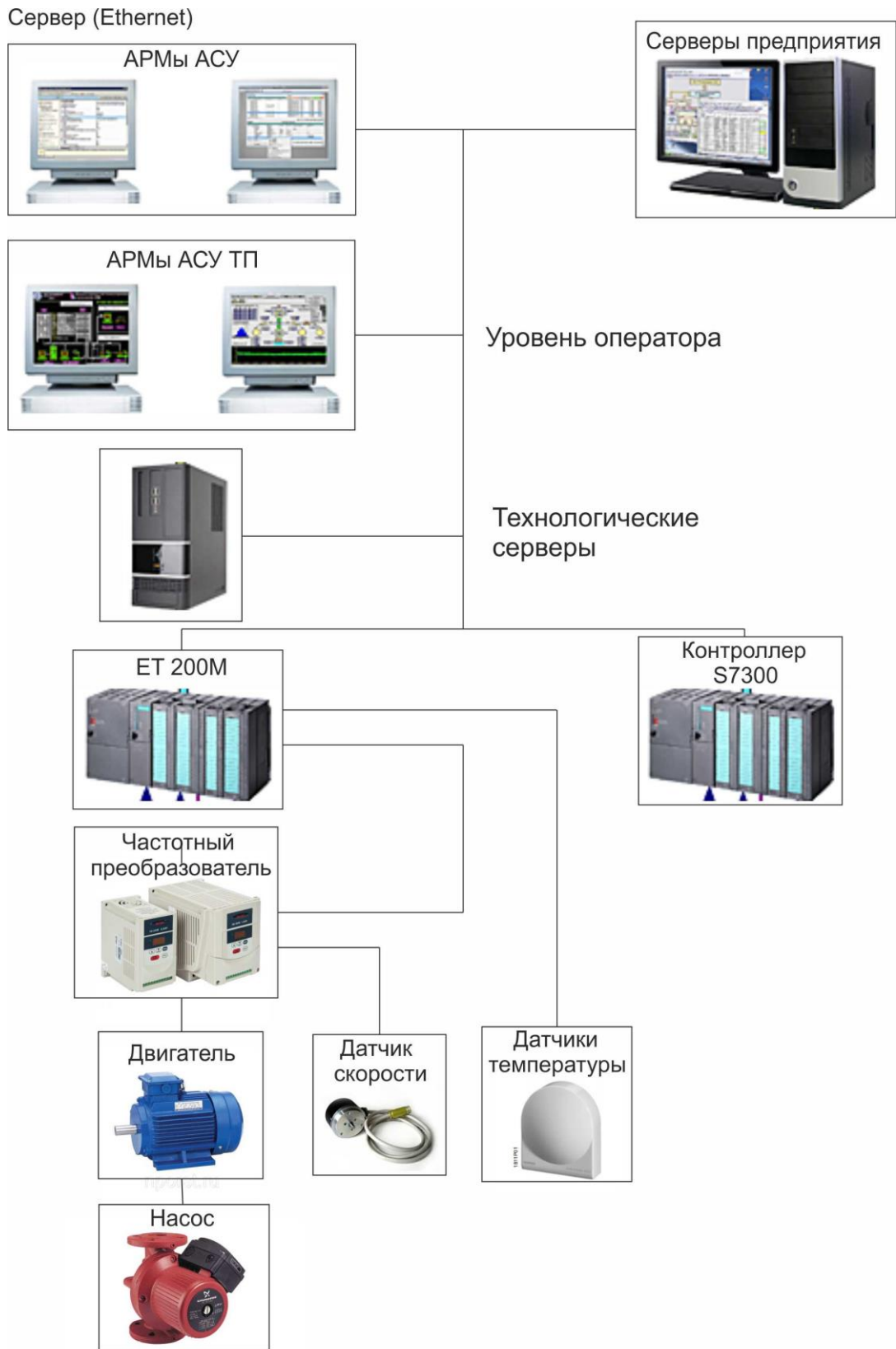


Рисунок 2.1 – Иерархическая структура системы

Для дистанционного управления запорным клапанами используются электромоторные приводы. Электромоторные клапаны необходимы для остановки функционирования системы в случае ремонтных работ.

Контроллер подключен к насосным узлам, что позволяет отслеживать состояние насоса: “включен/отключен”, скорость вращения, возможные неисправности, встроенная система безопасности насоса выключит его при возникновении неполадок, о чем сразу же будет сообщено оператору посредством панели управления. Также система управления позволяет регулировать скорость электродвигателя насоса.

Дополнительные датчики считывают значения давления в прямом и обратном коллекторах системы. Присутствует датчик положения ротора в качестве дополнительной меры безопасности.

Схема подключений контроллера показана на рисунке 2.2:

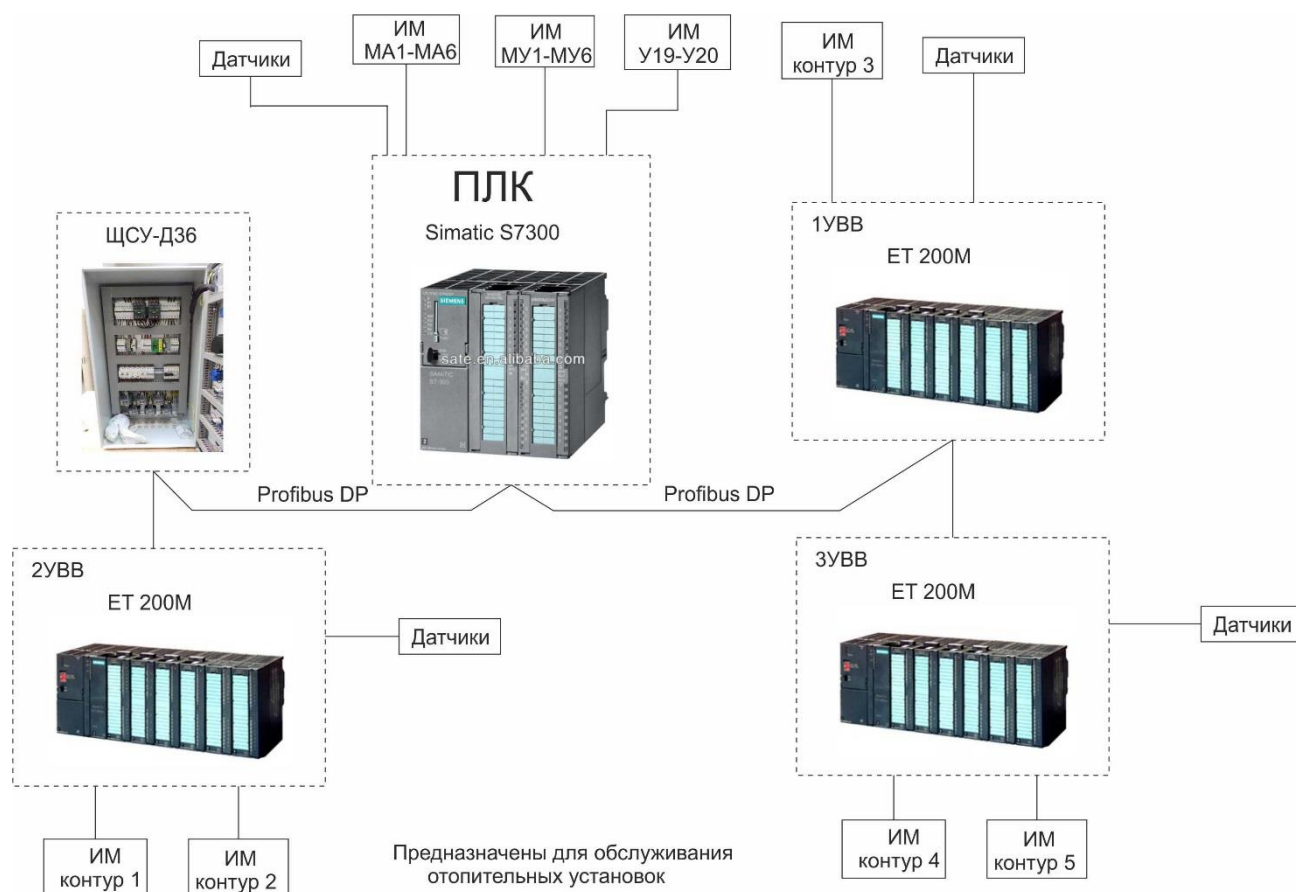


Рисунок 2.2 – Схема соединений контроллера

2.2 Описание контроллера и датчиков технологических координат

Преимущество разрабатываемого узла заключается в комплексности системы управления, которая позволяет контролировать технологический процесс и получать данные о его состоянии в реальном времени. Контроллер и станции удаленного доступа уже установлены в базовой системе, на данном этапе выпускной квалификационной работы произведем анализ присутствующих элементов системы автоматизации.

2.2.1 Анализ и подбор контроллера

В системе используется контроллер SIMATIC S7&-300 производства Siemens. Внешний вид представлен на рисунке 2.3:



Рисунок 2.3 – Контроллер Siemens Simatic S7 300

Программируемый логический контроллер SIMATIC S7-300 - предназначен для построения систем автоматизации низкой и средней степени сложности. Модульная конструкция контроллера S7-300, работа с естественным охлаждением, возможность применения структур локального и распределенного ввода-вывода, широкие коммуникационные возможности, множество функций, поддерживаемых на уровне операционной системы, высокое удобство эксплуатации и обслуживания обеспечивают возможность получения оптимальных решений для построения

систем автоматического управления технологическими процессами в различных областях промышленного производства.

Программируемые контроллеры Siemens SIMATIC S7-300 имеют модульную конструкцию и состоят из таких элементов:

- Центральные процессоры - Модуль центрального процессора (CPU). В зависимости от сложности задачи в контроллерах могут быть использованы различные типы центральных процессоров, которые отличаются производительностью, размером памяти, наличием или отсутствием встроенных входов-выходов и специальных функций, количеством и типом встроенных коммуникационных интерфейсов и т.д.;
- Блоки питания - Блоки питания (PS), обеспечивают питание контроллера от сети переменного тока напряжением 120/230 В или от источника постоянного тока напряжением 24/48/60/110 В;
- Сигнальные модули SM - Сигнальные модули (SM), предназначены для ввода и вывода дискретных или аналоговых сигналов с различными электрическими и временными параметрами;
- Коммуникационные модули - Коммуникационные процессоры (CP) обеспечивают возможность подключения к сетям PROFIBUS, Industrial Ethernet, AS-Interface или организации связи по PtP (point to point) интерфейсу;
- Функциональные модули - Функциональные модули (FM), могут самостоятельно решать задачи автоматического регулирования, позиционирования, обработки сигналов. Функциональные модули снабжены встроенным микропроцессором и выполняют возложенные на них функции даже в случае отказа центрального процессора программируемого логического контроллера;
- Интерфейсные модули - Интерфейсные модули (IM), обеспечивают возможность подключения к базовому блоку (стойка с CPU) стоек расширения ввода-вывода. Программируемые контроллеры Siemens

SIMATIC S7-300 позволяют использовать в своем составе до 32 сигнальных и функциональных модулей, а также коммуникационных процессоров, распределенных по 4 монтажным стойкам. Все модули работают с естественным охлаждением [17].

Технические характеристики контроллера сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – технические данные контроллера.

Электропитание		Рабочее напряжение	АС 230 В
		Частота	50 Гц
		Энергопотребление	5.5 ВА
		Внешний предохранитель	10 А
Входы	Дискретный вход	Напряжение с открытым контактом	DC 12 В
		Ток с закрытым контактом	DC 3 мА
		Сопротивление контакта	≤ 80 Ом
	Аналоговые входы	Рабочее напряжение	DC 0...10 В
		Входное сопротивление	> 100 кОм
Интерфейс		–	Profibus
Масса		–	0.74 кг

Данный контроллер установлен в текущей системе, но, так как единственное требуемое изменение – внесение программы управления в контроллер, то контроллер не будет заменен иным. Характеристики контроллера удовлетворяют требуемым, следовательно – контроллер подходит для использования в разрабатываемой системе.

2.2.2 Анализ станции удаленного доступа

По причине разветвленности общей системы отопления производственных зданий и множества периферийных систем и устройств, подключенных к системе контроллеров, используются станции периферийного ввода/вывода. В данной системе используется станция ET200-M, внешний вид которой представлен на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Станция периферийного доступа ET200-M

Такие станции полностью совместимы с выбранным контроллером S7-300 и разрабатываются для работы с ними. Станция ET 200M включает в свой состав: один интерфейсный модуль IM 153 (при подключении к резервированной сети PROFIBUS DP - два интерфейсных модуля), до 8 модулей S7-300 и блок питания. Модули S7-300 могут располагаться в любом сочетании и любом порядке.

Станция подключается к сети PROFIBUS DP через интерфейсный модуль IM 153. Подключение к оптическим каналам PROFIBUS DP может выполняться через интерфейсный модуль IM 153-2 FO, дополнительный оптический модуль связи OLM или оптический сетевой терминал OBT.

Допустимый состав модулей ввода-вывода станции ET 200M определяется типом используемого интерфейсного модуля и техническими характеристиками ведущего сетевого устройства.

Полное адресное пространство ET 200M может использоваться только некоторыми типами ведущих DP-устройств [18].

2.2.3 Подбор датчиков технологических координат

Многие датчики и устройства контроля технологических координат, необходимые для разрабатываемой системы, отсутствуют в базовой системе по причине иного принципа работы регулирования отопительной системы. Для реализации системы управления будут использоваться следующие датчики: накладной датчик температуры для контроля разницы температур между ветвями индивидуального теплового пункта, от этой разницы напрямую зависит отбор тепла от радиатора и ее необходимо сохранять постоянной в области 20°C, так как в вычислении отбора тепла еще участвует расход теплоносителя как основной показатель управления; внешние датчики температуры для задания изначального сигнала, поступающего на узел насоса, также к внешним датчикам проходит обратная связь по температуре для урегулирования работы системы, внешние датчики оценивают итоговую работу системы; датчики давления используются лишь для сохранения необходимого давления системы.

Подбор датчиков будет осуществляться по совместимости с контроллером и станцией периферийного доступа и по необходимым показателям измеряемой температуры и электрических показателей. Показания температурного режима оговорены в пункте 1.5 первой части выпускной квалификационной работы.

Подбираемые датчики зачастую идут в комплекте с основными устройствами системы управления, так как разрабатываются специально для работы с ними

Накладные датчики температуры модели QAD2 FA-T1G произведены Siemens. Они предназначены для измерения температуры воды в трубопроводах. Диапазон измерения -30 – 130 °С. Чувствительный элемент датчика измеряет температуру трубопровода. Сопротивление чувствительного элемента трубопровода меняется как функция температуры среды. Внешний вид датчика показан на рисунке 2.5:



Рисунок 2.5 – Накладной датчик температуры QAD2

В данном датчике используется чувствительный элемент LG-Ni1000. Зависимость сопротивления чувствительного элемента от температуры показана на рисунке 2.6:

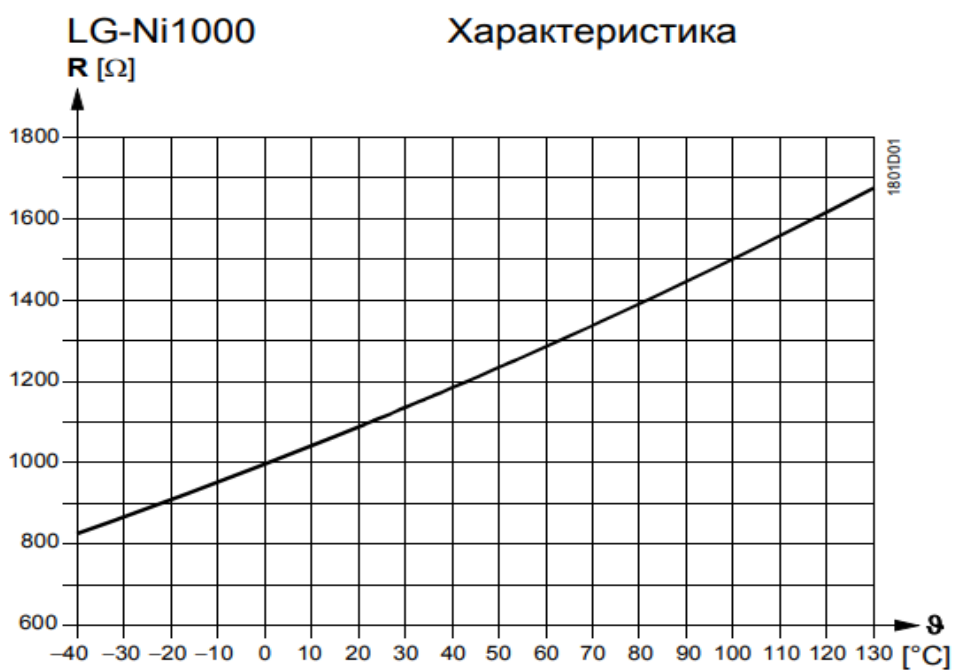


Рисунок 2.6 – Характеристика чувствительности датчика

Датчик состоит из следующих компонентов:

- пластиковый корпус с крышкой, клеммами и прокладкой;

- гибкая медная пластина с чувствительным элементом, адаптирующаяся к поверхности трубы;
- фиксатор для труб.

Для непосредственной оценки условий работы и температуры в помещении используется наружный датчик QAC 22 производства Siemens. Наружные датчики предназначены для измерения наружной температуры. Конструкция датчика обеспечивает измерение температуры с минимальным воздействием солнечной радиации, воздушных потоков и температуры стены здания. Датчики QAC... применяются для систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Внешний вид датчика показан на рисунке 2.7:



Рисунок 2.7 – Наружный датчик QAC

Из двух наружных датчиков один используется для задания необходимой температуры, второй – для отображения реальных температурных данных. Обратная связь системы приведена именно ко второму датчику, уравновешивая его значение и одновременно регулирую характер вращения электродвигателя насоса.

Зависимость сопротивления от температуры представлена на рисунке 2.8:

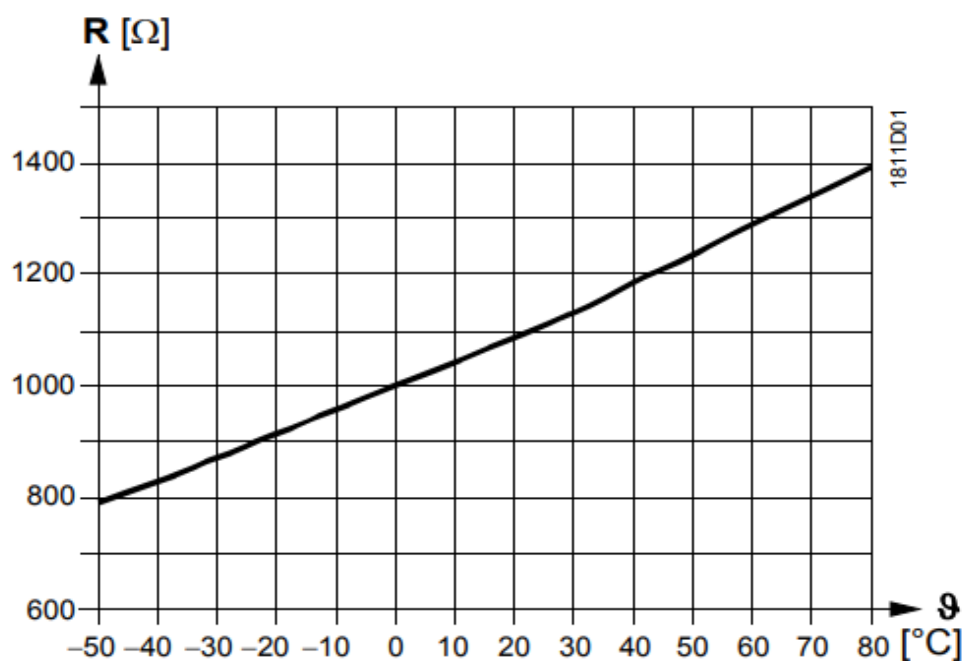


Рисунок 2.8 – Характеристика чувствительности датчика

Технические характеристики представленных выше датчиков представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры датчиков технологических координат

Параметры накладного датчика		
Функциональные характеристики	Диапазон применения	-50 – 70 °C
	Чувствительный элемент	LG-Ni1000
	Константа времени	~ 14 с
	Тип измерительного элемента	пассивный
Степень защиты	Защита корпуса	IP 54
	Класс безопасности	3
Масса	–	~ 0,093 кг

Продолжение таблицы 6

Параметры внешнего датчика		
Функциональные характеристики	Диапазон применения	-30 – 130 °С
	Чувствительный элемент	LG-Ni1000
	Константа времени	3 с
	Тип измерительного элемента	Пассивный
Степень защиты	Механические условия	Класс 2М2
	Защита корпуса	IP 46
	Окружающая среда	Класс 3К5
	Механические условия	Класс 2М2
Масса	–	0,072 кг

В системе присутствуют клапаны, управление над которыми осуществляется электродвигательными приводами Siemens SQS35, внешний вид которого представлен на рисунке 2.9:



Рисунок 2.9 – Электродвигательный привод Siemens SQS35

Эти приводы применяются для управления клапанами для контроля горячей и холодной воды в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Реверсивный синхронный электромотор управляется 3-точечным либо пропорциональным сигналом 0...10 В, DC 2...10 В или 0...1000 Ом. Ход штока вызывается через неблокируемую зубчатую передачу.

2.3 Выбор и разработка функциональной схемы САР привода проектируемого агрегата

Объектом регулирования является насосный узел отопительной системы, предназначенный для регулирования расхода теплоносителя по трубопроводу.

Исходя из технологического процесса можно поставить перед системой автоматизации привода следующие задачи:

- Поддержание скорости электродвигателя постоянной в течение длительных периодов времени;
- Обеспечение пуска и остановки электродвигателя в необходимые промежутки времени;
- Реализация обратной связи по температуре с целью регулирования системы в целом.

Система состоит из трех идентичных приводов, каждый из которых работает самостоятельно в одной из ветвей. По проделанным расчетам и образцу технологического процесса системы была синтезирована функциональная схема системы автоматического регулирования проектируемой системы. Так как контур регулирования конкретно привода напрямую зависит от технологических координат всей системы, то встает необходимость разрабатывать САР всей системы целиком, но в аппроксимированном виде – только для одной насосной станции.

Рассмотрим САР для узла насоса в составе САР системы (Рисунок 2.10)

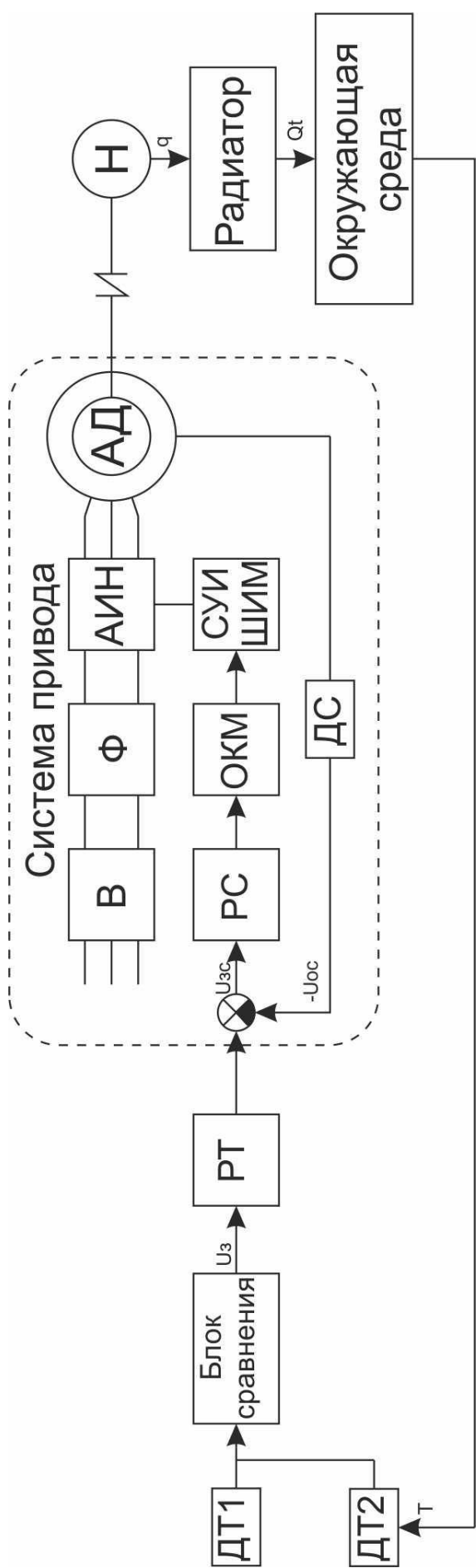


Рисунок 2.10 – Упрощенная функциональная схема регулирования

На данной схеме видно, какое место занимает узел насоса в системе в целом. Система привода включает в себя: РС – регулятор скорости, ОКМ – оптимизированный контур момента, ДС – датчик скорости. Объектом управления во внутренней системе привода является АД – асинхронный двигатель с преобразователем частоты. На схеме представлено схематическое изображение структуры частотного преобразователя. Объектом управления системы является помещение, возмущающим воздействием для температуры помещения является температура снаружи здания. Температура помещения считывается датчиком ДТ2, к нему же реализована обратная связь по температуре. Датчик ДТ1 в данном случае отображает желаемую температуру, которая составляет 20°C. Температуры с датчиков ДТ1 и ДТ2 сравниваются в блоке сравнения, сигнал, синтезируемый разницей температур являются задающим для системы привода, именно на его основе двигатель разгоняется до нужной температуры. В схеме установлен регулятор температуры, реализация которого будет представлена в следующих пунктах. Входная характеристика для системы привода – напряжение, соответствующее заданию расхода, выходная – угловая скорость, необходимая для поддержания определенного значения расхода в трубопроводе. Н – насос, который соединен с АД посредством муфты, на рисунке 2.10 нет переходных звеньев между АД и Н, так как технологически они отсутствуют, но будут представлены численно при разработке математической модели.

2.4 Разработка контура регулирования технологических координат

Специфика данной системы в том, что привод состоит только из двигателя и частотного преобразователя. Система, установленная на производстве в данный момент является примитивной и не обладает структурной схемой регулирования технологических координат. Схема, которую необходимо будет составить в рамках выполнения ВКР, должна будет содержать управление как по скорости как по технологической координате узла насоса, так и по разнице температур как по технологической координате системы. Наиболее подходящим способом

регулирования является скалярное управление частотно-регулируемого асинхронного двигателя.

В базовую систему был введен частотно-управляемый привод, который делает возможным создание управляемой системы отопления. Для полной реализации САУ необходимо выделение основных технологических координат и составление контура автоматического регулирования технологических координат

Скалярное управление является простым и дешевым в реализации, но имеет следующие недостатки - медленный отклик на изменение нагрузки и небольшой диапазон регулирования. Поэтому скалярное управление обычно используется в задачах, где нагрузка либо постоянна, либо изменяется по известному закону.

При скалярном методе управления, скорость асинхронного электродвигателя контролируется установкой величины напряжения и частоты статора, таким образом, чтобы магнитное поле в зазоре поддерживалось на нужной величине. Для поддержания постоянного магнитного поля в зазоре, отношение В/Гц должно быть постоянным на разных скоростях.

При увеличении скорости напряжение питания статора так же должно пропорционально увеличиваться. Однако синхронная частота асинхронного двигателя не равна частоте вращения вала, а скольжение асинхронного двигателя зависит от нагрузки. Таким образом система контроля со скалярным управлением без обратной связи не может точно контролировать скорость при наличии нагрузки. Для решения этой задачи в систему может быть добавлена обратная связь по скорости, а, следовательно, и компенсация скольжения.

Все данные оборудования, необходимые для составления контура регулирования были приведены в таблице 3. Расчетные данные для различных режимов были сведены в таблицу 2.

При составлении математической модели были сделаны следующие допущения.

- Не учитывать колебания в трубопроводе;
- Пренебрегаем зоной нечувствительности управляющего аппарата;

- Пренебрегаем сухим трением в механических элементах;
- Неизменно давление в трубопроводе;
- Пренебрегаем динамическими моментами;
- Длительность работы привода;
- Пренебрегаем быстродействием.

Необходимо составить математическую модель системы, включающую привод. Первая характеристика – входное задающее напряжение, которое сообщается двигателю. Выходной характеристикой является угловая скорость.

$$\omega = \frac{dU_3}{dt} \frac{k_{pc}}{T_\mu} + k_{pc} \quad (14)$$

В контуре электропривода в системе присутствует оптимизированный контур момент и существует возможность ввести статический момент и проследить изменения момента.

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_H \quad (15)$$

Связь между скоростью и получаемым на выходе насоса расходом, влияющим на тепловой отбор.

$$Q = Q_H \frac{d\omega}{dt} \cdot \frac{k_H}{\omega_H} \quad (16)$$

Уравнение напора идентично уравнению (16) для расхода, но напор не принимает участие в образовании тепловой энергии, являясь при этом одной из

основных характеристик насоса, наряду с расходом включаемой в напорно-расходные гидравлические характеристики насоса.

Значение преобразуемой тепловой энергии получается посредством принятия расхода на входе и преобразования значения функции следующим образом:

$$Q_T = \left(Q_n \frac{d\omega}{dt} \right) \cdot k_{тэ} \cdot \frac{1}{C \cdot \Delta t_k} \quad (17)$$

Итоговую произведенную системой температуру можно выразить через уравнение (5) как функцию тепловой мощности.

$$t = \left(\frac{dQ_T}{dt} \right) \cdot \frac{k_{тэ}}{T_{нагр}} \quad (18)$$

В конечном итоге математическую модель можно свести в систему уравнений. Формулы (1-5) выражают расчет последовательным образом – от входной до выходной характеристики. Для составления математической модели крайне желательно представить все динамические параметры в качестве функций от одной величины, например – задающего напряжения. Каждое из уравнений в системе показывает последовательное изменение технологической координаты с преобразованием ее в различные физические параметры привода и системы. На основе данной системы уравнений будут рассчитаны коэффициенты и постоянные значения времени для звеньев функциональной схемы системы автоматического регулирования разрабатываемого проекта. В таком случае система математической модели будет выглядеть следующим образом:

$$\left. \begin{aligned}
 \omega(p) &= \frac{dU_3}{dt} \frac{k_{pc}}{T_\mu} + k_{pc} \\
 M(p) &= J \frac{d\omega(p)}{dt} + M_H \\
 Q &= Q_H \frac{d\omega(p)}{dt} \cdot \frac{k_H}{\omega_H} \\
 Q_T &= \left(Q_H \frac{d\omega(p)}{dt} \right) \cdot k_{TЭ} \cdot \frac{1}{C \cdot \Delta t_K} \\
 t &= \left(\frac{dQ_T(p)}{dt} \right) \cdot \frac{k_{TЭ}}{T_{нагр}}
 \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

По данной системе уравнений математической модели была составлена структурная схема системы отопления производственного здания в виде блоков с передаточными функциями. Для отображения характеристик системы в целом и привода в частности будет синтезирована модель в среде MATLAB Simulink со множеством блоков, предназначенных только для обзора различных характеристик системы. Схема с подставленными передаточными функциями представлена на рисунке 2.11.

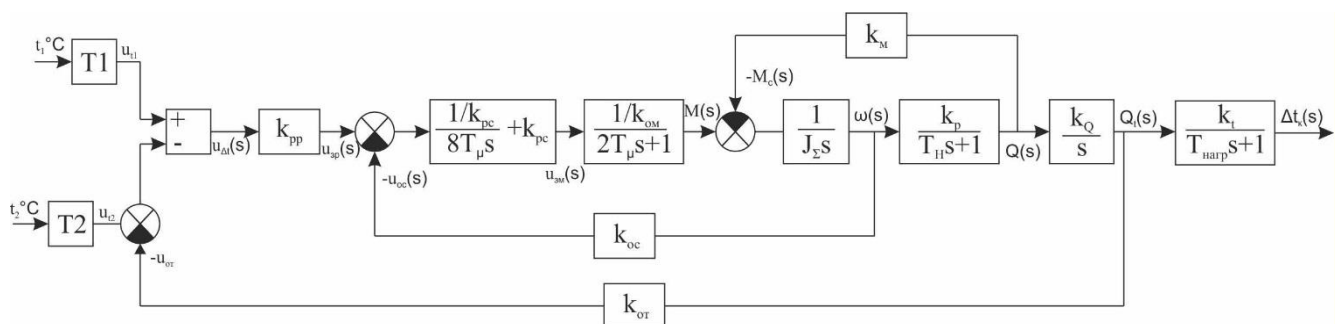


Рисунок 2.11 – Структурная схема отопительной системы

Имея данную схему и передаточные функции построим математическую модель системы в Simulink.

2.5 Разработка структурной схемы САУ и моделирование типовых режимов работы привода

Рассчитаем коэффициенты и постоянные времени, необходимые для составления математической модели.

Коэффициент обратной связи по моменту рассчитывается следующим образом:

$$K_{OM} = \frac{U_{max}}{M_{max}} \quad (20)$$

где U_{max} – максимальное напряжение управления, В;

M_{max} – максимальный момент двигателя, Нм.

Коэффициент регулятора скорости:

$$K_{PC} = \frac{K_{OM} \cdot J_{\Sigma}}{4T_{\mu} \cdot K_{OC}} \quad (21)$$

где J_{Σ} – суммарный момент инерции привода, кг·м²;

T_{μ} – постоянная времени частотного регулятора;

K_{OC} – коэффициент обратной связи по скорости.

Коэффициент обратной связи по скорости:

$$K_{OC} = \frac{U_{max}}{\omega_{max}} \quad (22)$$

где ω_{max} – максимальная угловая скорость, рад/с.

Суммарный момент инерции представляет собой сумму момента инерции двигателя и момента привода. Система является одномассовой и не имеет передач. Следовательно – суммарный момент инерции можно принять равным моменту инерции двигателя.

$$J_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J_{\text{пр}} \quad (23)$$

где $J_{\text{дв}}$ – момент инерции двигателя, кг·м²;

$J_{\text{пр}}$ – момент инерции элементов привода, кг·м².

Коэффициент расхода насоса:

$$K_p = \frac{Q_{\text{max}}}{\omega_{\text{max}}} \quad (24)$$

где Q_{max} – максимальный расход насоса, м³/ч;

Для упрощения расчетов и моделирования была взята лишь одна ветвь системы.

Коэффициент тепловой мощности одной ветви системы:

$$K_{qt} = \frac{Q_t}{Q_{\text{max}}} \quad (25)$$

где Q_e – максимальная тепловая мощность радиатора одной ветви, кВт.

Коэффициент П-регулятора расхода:

$$K_{pp} = \frac{Q_{\text{max}}}{U_{\text{max}}} \quad (26)$$

Коэффициент звена помещения (объекта управления полной системы):

$$K_T = \frac{\Delta t_{\max}}{Q_t} \quad (27)$$

где Δt_{\max} – максимальная разница температур между текущей и достигнутой, °С.

Постоянная времени звена помещения (объекта управления полной системы):

$$T_{\text{нагр}} = M_{\text{пр}} \cdot c_{\text{пр}} \cdot F_{\text{пр}} \quad (28)$$

где $M_{\text{пр}}$ – масса радиатора, кг;

$c_{\text{пр}}$ – удельная массовая теплоемкость прибора, кДж/(кг·°С);

$F_{\text{пр}}$ – площадь прибора, м².

Коэффициент обратной связи по температуре:

$$K_{\text{от}} = \frac{U_{\max}}{\Delta t_{\max}} \quad (29)$$

Статический момент в данной системе зависит от расхода воды в данный момент времени в трубопроводе. Коэффициент статического момента рассчитывается следующим образом:

$$K_{\text{мс}} = \frac{M_{\text{с max}}}{Q_{\text{mzx}}} \quad (30)$$

где $M_{\text{с max}}$ – максимальный статический момент, создаваемый потоком, Нм.

По формулам (20-30) были проделаны расчеты, которые были сведены в таблицу 7. В таблице присутствуют исходные данные и рассчитанные.

Таблица 7 – Данные для построения математической модели

Наименование/обозначение	Величина	Значение
Исходные данные		
Максимальное напряжение управления, U_{\max}	В	10
Максимальный момент двигателя, M_{\max}	Нм	2,7
Суммарный момент инерции, J_{Σ}	кг·м ²	0,0081
Постоянная времени частотного преобразователя, T_{μ}	–	0,001
Максимальная угловая скорость, ω_{\max}	рад/с	314
Максимальный расход, Q_{msx}	м ³ /ч	18,6
Максимальная тепловая мощность, Q_t	Вт	1584
Максимальная разница температур, Δt	°С	50
Масса радиатора, $M_{\text{пр}}$	кг	86
Площадь поверхности радиатора, $F_{\text{пр}}$	м ²	0,25
Удельная массовая теплоемкость, $c_{\text{пр}}$	кДж/(кг·°С)	0,897
Полученные значения		
Коэффициент обратной связи по моменту, K_{OM}	–	0,171
Коэффициент регулятора скорости, K_{PC}	–	38,8

Продолжение таблицы 7

Коэффициент обратной связи по скорости, K_{OC}	–	0,031
Коэффициент расхода насоса, K_P	–	0,06
Коэффициент тепловой мощности, K_{Qt}	–	150
Коэффициент П-регулятора расхода, K_{PP}	–	1,86
Коэффициент звена помещения, K_T	–	0,01262
Коэффициент обратной связи по температуре, K_{OT}	–	0,2
Коэффициент статического момента, K_{MC}	–	0,145
Постоянная времени насоса, T_H	–	0,2
Постоянная времени звена помещения, $T_{HAГP}$	–	4528

Постоянная времени частотного преобразователя – наиболее малая, так как преобразователь является наиболее быстродействующим элементом всей системы. Постоянная времени насоса взята из технической характеристики в каталоге продукции Grundfos. Постоянная времени звена помещения олицетворяет время нагрева помещения при заданной мощности работы привода управления отоплением.

Проделав данные расчеты, составим математическую модель (рисунок 2.12).

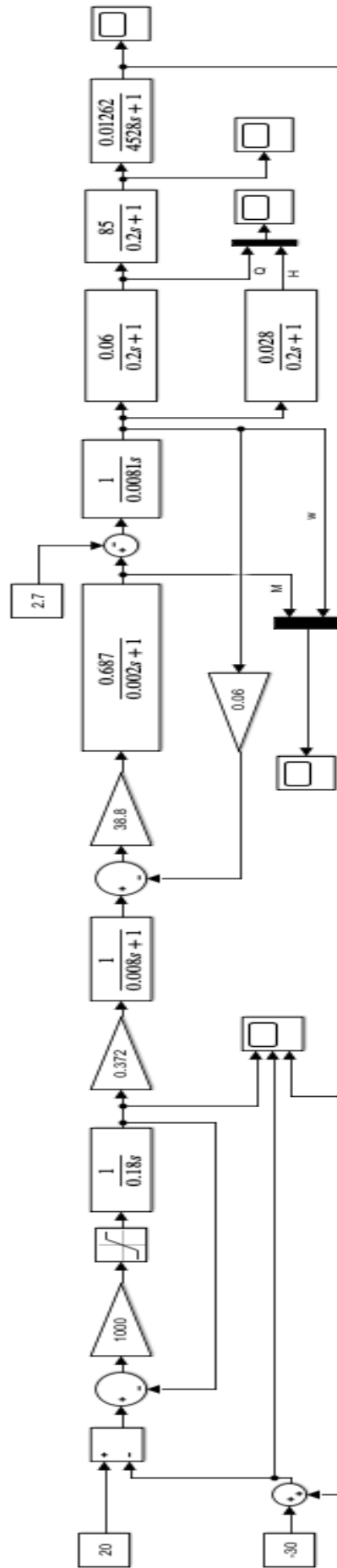


Рисунок 2.12 – Математическая модель отопительной системы

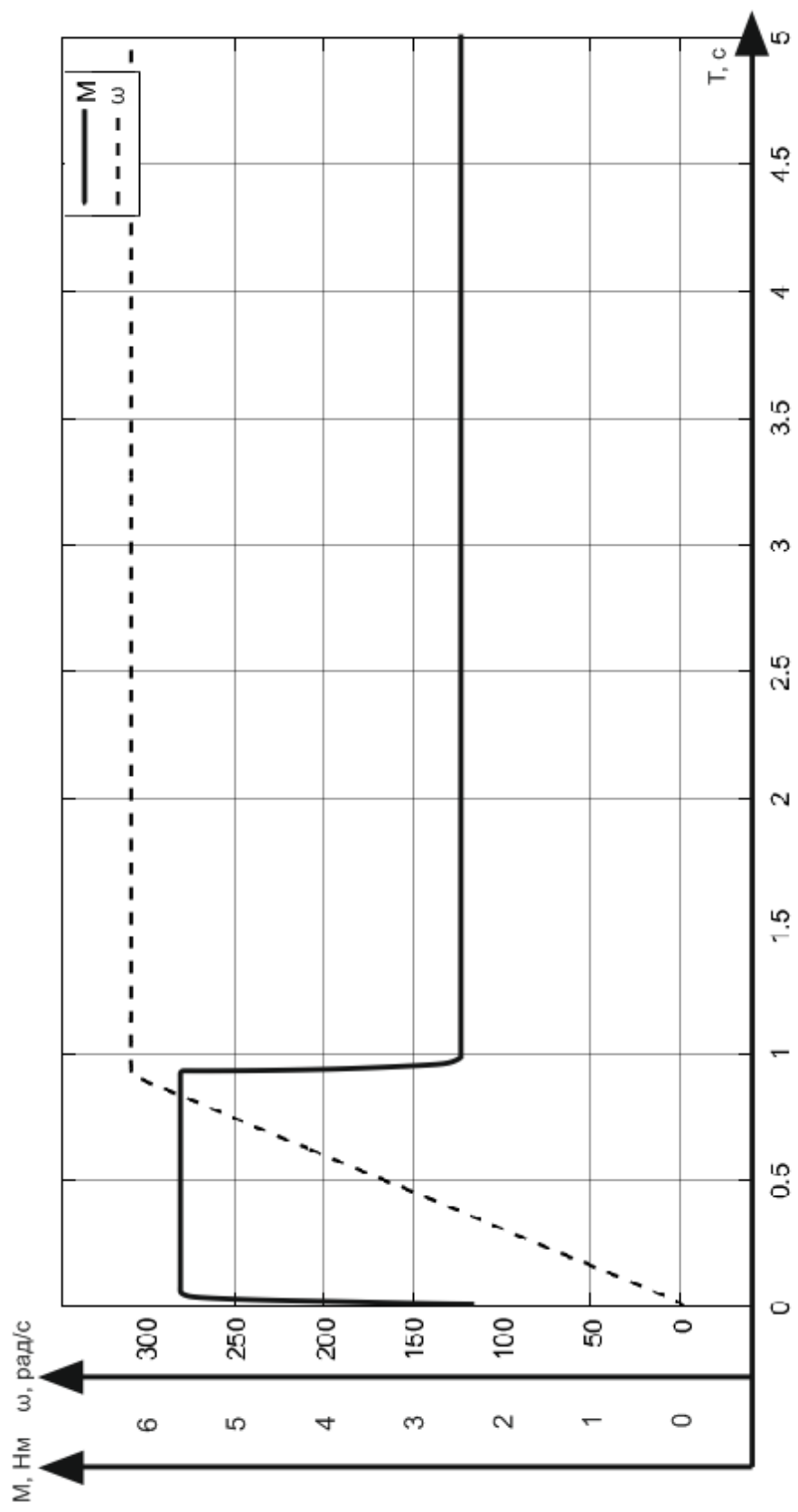


Рисунок 2.13 – Переходные процессы в приводе

Для оценки работы системы были приведены графики основных параметров электропривода, такие как момент и угловая скорость с переходными процессами (Рисунок 2.13).

Приведем графики основных параметров насоса – напорно-насосных характеристик (Рисунок 2.14).

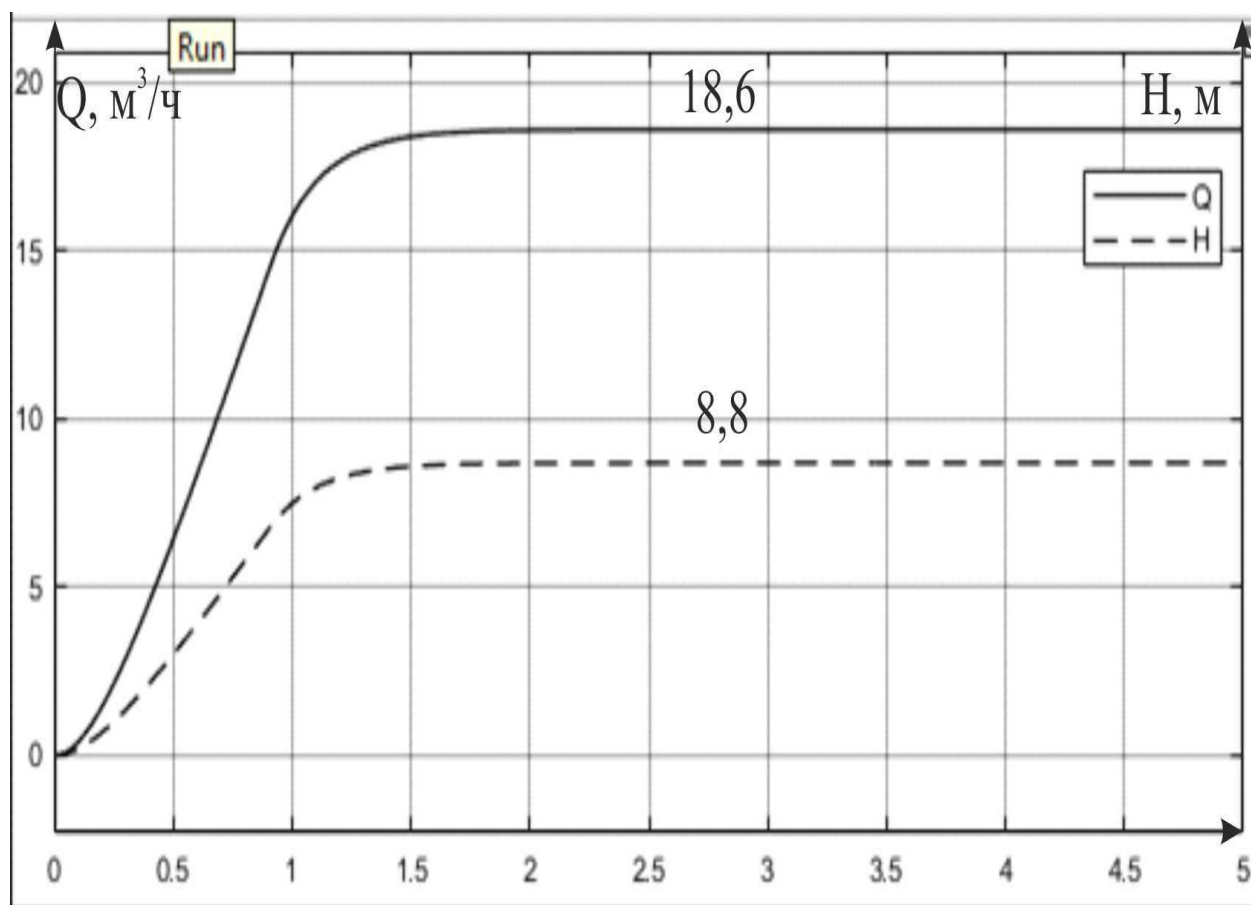


Рисунок 2.14 – Напорно-расходная характеристика насоса

Напор и расход достигают своей максимальной величины за 1,5 секунды, что обусловлено сравнительно большой постоянной времени насоса, в отличие от постоянной времени частотного преобразователя.

Изменение температура до желаемого уровня изображено на рисунке 2.15:

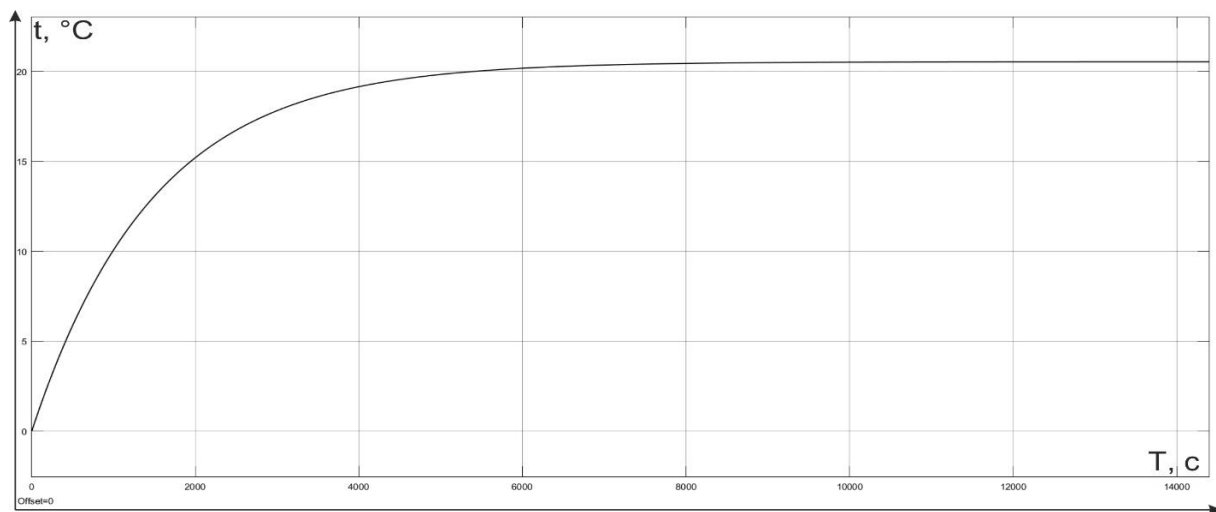


Рисунок 2.15 – Температурные изменения помещения

Как видно из графика, температура достигает желаемого уровня за 2 часа 12 минут, что является аппроксимацией к идеальным условиям, в реальности прогрев происходит неравномерно в связи с множеством факторов.

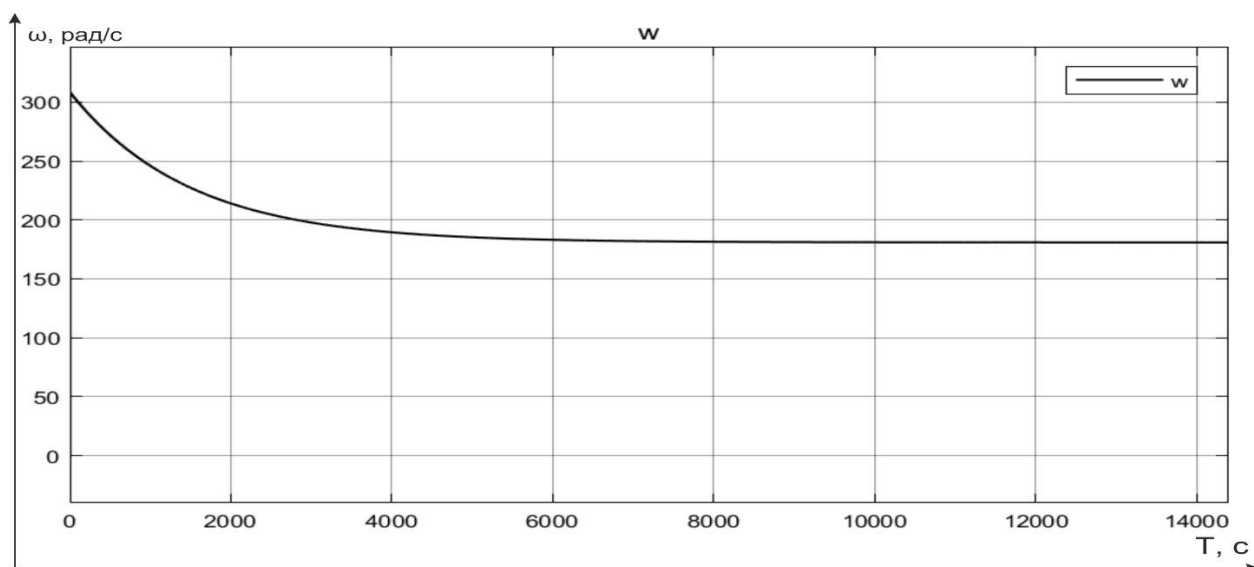


Рисунок 2.16 – Изменения скорости при переменном режиме работы

На рисунке 2.16 видно постепенное изменение работы электродвигателя.

3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

3.1 Краткая характеристика подразделения и выпускаемой продукции

ЧТПЗ – промышленная группа металлургического комплекса России, является одной из крупнейших отечественных компаний-производителей трубной продукции с общей долей рынка около 17%. Выручка компании превышает \$2 млрд, на заводах компании ЧТПЗ работает около 25 000 человек, с 2011 цех «Высота 239» вышел на расчетную мощность, при способности производить около 900000 тон продукции в год.

Сегодня основной продукцией компании являются:

- трубы электросварные диаметром 12 – 76 мм,
- трубы сварные большого диаметра 508 – 1422 мм (в том числе с покрытием: наружным и внутренним антикоррозионным, внутренним гладкостным),
- трубы бесшовные горячедеформированные диаметром 32 – 550 мм, в т.ч. нержавеющей диаметром 89 – 159 мм,
- трубы бесшовные холоднодеформированные диаметром 0,3 – 426 мм, в т.ч. нержавеющей диаметром 0,3 – 426 мм,
- насосно-компрессорные трубы диаметром 60 – 114 мм, обсадные трубы диаметром 114 – 178 мм и 245 – 426 мм, муфты к ним,
- профильные трубы,
- баллоны для сжатых газов,
- керамические флюсы для сварки и наплавки.

Используя информацию из методического пособия Т.В. Попп «определение экономической эффективности технических решений в дипломных проектах» буду дальше рассчитывать производственную программу цеха, смету капитальных затрат, показание прибыли и срок окупаемости.

3.2 Расчет производственной программы цеха

Для увеличения эффективности производства труб большого диаметра, для уменьшения себестоимости законченного продукта, так же для увеличения расчетного плана существует несколько путей экономической модернизации: снижение технологического цикла на каждом этапе обработки продукции, минимизирование количества бракованной продукции, сокращение время на ремонт и уменьшить время простой агрегатов цеха «Высота 239», увеличение энергоэффективности агрегатов и систем, присутствующих в цехе.

Для достижения вышеперечисленных факторов работники цеха «Высота 239» по мере возможности каждый раз модифицируют свои системы или разрабатывают новые, устанавливая более современные электроприводы, новую аппаратуру управления и защиты, новое ПО, чтобы повысить их эффективность и снизить время рабочего цикла обработки продукции, минимизировать количество брака и улучшить энергоэффективность.

За счет всех вышеперечисленных манипуляций, возможно, улучшить технико-экономические показатели, при том, что качество выпускаемой продукции не ухудшается.

Годовой объем производства труб большого диаметра цеха «Высота 239» определяться по следующей формуле:

$$V_{\text{ГОД}} = P \cdot T_{\text{ФОНД}} \quad (31)$$

где, $V_{\text{год}}$ – годовой объем производства, тонн;

P – производственная мощность станка, тонн/ч;

$T_{\text{фонд}}$ – годовой фонд рабочего времени станка, ч

Рассматриваемая система не является производственной, поэтому модернизация не приведет к увеличению производственной мощности цеха, но приведет к более экономному потреблению энергии. Если учесть, что количество

индивидуальных тепловых пунктов может быть больше одного на цех, то экономия окажется существенной. К тому же – повысится удобство управления, и система будет более соответствовать современным стандартам.

3.3 Расчет сметы капитальных затрат

Для определения экономической эффективности намеченных мероприятий необходимо определить сумму капитальных затрат на их внедрение [19].

Общая величина капитальных вложений включает суммарные затраты на приобретение, транспортировку и монтаж оборудования, и строительные работы:

$$K = C_{об} + T_p + Z_{сmp} + Z_{нр}, \quad (32)$$

где $C_{об}$ – общая стоимость оборудования, руб;

T_p – транспортные расходы, 6-10% от $C_{об}$, руб;

$Z_{нр}$ – непредвиденные расходы, , 3-5% от $C_{об}$, руб.

$Z_{сmp}$ – строительные работы и монтажные работы, , 10-15% от $C_{об}$, руб;

Для модернизации была внедрена аппаратура производства Grundfos, цены на которую были взяты из онлайн-каталога.

Таблица 9 – Цены на оборудование

Наименование оборудования	Количество единиц, шт.	Цена за единицу, тыс.руб.	Общая стоимость, тыс.руб.
Циркуляционный насос Grundfos TPE 32 со встроенным частотным преобразователем	3	151,654	454,962
Датчик сухого хода UNIPUMP LP/3	3	0,486	1,458

Продолжение таблицы 9

Реле защиты двигателя FANOX EM01B98780	3	11,714	35,142
Датчик температуры наружного воздуха ATF01 S+S	2	1,158	3,474
Накладной датчик температуры ALTF02 S+S	2	1,639	4,917
Перепрограммирование контроллера	1	50	50
Прочее неучтённое оборудование	5%	24,997	
Итого стоимость оборудования	549,953		
Демонтируемое оборудование			
Циркуляционный насос Grundfos UPS40-120f	3	35,386	106,158
Прочее неучтённое оборудование	10%	–	10,615
Итого стоимость оборудования	–	–	116,773

Исходя из данных таблицы 3, мы можем рассчитать полную стоимость капитальных затрат на установку нашей системы.

$$Z_{\text{смп}} = Ц_{\text{об}} \cdot 0,15 = 549953 \cdot 0,15 = 82492 \text{ руб.}; \quad (33)$$

$$T_p = Ц_{\text{об}} \cdot 0,1 = 549953 \cdot 0,1 = 54995 \text{ руб.}; \quad (34)$$

$$Z_{\text{ир}} = Ц_{\text{об}} \cdot 0,05 = 549953 \cdot 0,05 = 27497 \text{ руб.}; \quad (35)$$

$$K = 549953 + 82492 + 54995 + 27497 = 714937 \text{ руб.}$$

Полная стоимость капитальных инвестиций составляет 714937 рублей, рассчитаем расходы на обслуживание разрабатываемой системы.

3.4 Расчет РСЭО

Эксплуатационные расходы, связанные с работой системы оборудования, состоят из суммы на эксплуатацию системы привода.

Суммы на эксплуатацию системы электропривода можно рассчитать по формуле:

$$C = A + C_{\text{тр}} \quad (36)$$

Расчёт амортизационных отчислений определяться на основе капитальных затрат на оборудование и нормы амортизации для него.

Норму амортизации находим по следующей формуле:

$$N_a = \frac{100}{T_a} = \frac{100}{15} = 6,67\%, \quad (37)$$

где N_a – величина амортизация оборудования, %;

T_a – срок службы нового и демонтированного оборудования, лет.

Величина амортизации нового оборудования определится как:

$$A = \frac{K \cdot N_a}{100} = \frac{714937 \cdot 6,67}{100} = 47686 \text{ руб.} \quad (38)$$

Стоимости ремонта и обслуживания оборудования, также стоимость запасных частей возьмём как 10% от стоимости.

Следовательно, величина годовых затрат на эксплуатацию системы привода составит:

$$C = A + C_{\text{тр}} = 47686 + 45496 = 93182 \text{ руб.} \quad (39)$$

При этом стоимость эксплуатации и обслуживания немодернизированной системы составляет:

$$7788 + 10615 = 18403 \text{ руб.}$$

Таким образом были подсчитаны затраты на эксплуатацию и обслуживание старого образца системы и новой разработанной.

3.4.1 Затраты на материалы и сырье при эксплуатации оборудования.

В данный пункт расходов относятся расходы на кабель и затраты на фланцевые соединения. Замена материалов производится во время текущих осмотров оборудования, текущих ремонтов и капитального ремонта, то есть 14 раз в году. Цена единоразовой замены участка кабеля составляет 163 руб.

Вычислим максимальные затраты на замену кабеля.

$$163 \cdot 14 = 2282 \text{ руб.}$$

Следующим пунктом расчетов является расчет затрат на сменные уплотнительные элементы. В течение года требуется 10 уплотнительных колец. Стоимость набора из 10 уплотнительных колец составляет: 1900 руб.

Из всего это следует, что затраты на материалы составят:

$$2282 + 1900 = 4182 \text{ руб.}$$

Таким образом были подсчитаны затраты на материалы. В расчете срока окупаемости проекта будет использоваться это значение как годовое.

3.4.2 Затраты на электроэнергию

Целью модернизации является снижение энергозатрат на функционирование оборудования. Демонтированное оборудование потребляло до 5,0 кВт/ч, в то время как новый циркуляционный насос в среднем потребляет 1.1 кВт/ч. Стоимость 1 кВт составляет 3,6 руб. Оборудование работает 285 дней в году. Расчет энергозатрат со старым оборудованием:

$$3 \cdot 5 \cdot 24 \cdot 285 \cdot 3,6 = 369360 \text{руб.}$$

Система с новым приводом будет потреблять следующее количество электроэнергии:

$$3 \cdot 1,1 \cdot 24 \cdot 285 \cdot 3,6 = 81259 \text{руб.}$$

Тогда прибыль, полученная в результате экономии на электроэнергии составит:

$$369360 - 81259 = 288100 \text{руб.}$$

Старая система предполагает ручную смену режимов, модернизация позволяет менять режимы автоматически, что уменьшает время ручной работы с системой и позволяет сигнализировать о необходимости провести ремонт, т.е. отпадает возможность проводить плановые ремонты основного оборудования .

3.5 Эксплуатационные затраты на заработную плату

За процессом наблюдает 1 специалист из службы общецехового оборудования, месячная тарифная ставка которого составляет:

$$185 \cdot 120 = 22200 \text{руб.}$$

где 185 – часовая тарифная ставка оператора;
120 – среднегодовая норма часов в месяц.

Премияльная оплата труда (15 %):

$$22200 \cdot 0.15 = 3330 \text{ руб.}$$

Уральский коэффициент (15 %):

$$(3330 + 22200) \cdot 0.15 = 3829 \text{ руб.}$$

Таким образом, итоговой месячный фонд оплаты труда оператора технолога составит:

$$22200 + 3330 + 3829 = 29359 \text{ руб.}$$

Годовой ФОТ составляет:

$$29359 \cdot 12 = 352314 \text{ руб.}$$

Отчисления в социальные нужды установлены в размере 30 % от общего фонда заработной платы (22 % в пенсионный фонд РФ, 5,1 % в федеральный фонд обязательного медицинского страхования, 2,9 % в территориальный фонд обязательного медицинского страхования). Таким образом, годовые отчисления на социальные нужды составят:

$$352314 \cdot 0.3 = 105694 \text{ руб.}$$

Годовые затраты на заработную плату одному оператору технологу составят:

$$352314 + 105694 = 458008 \text{ руб.}$$

Специалист из службы общецехового оборудования наблюдает за показаниями системы, принимает решения о необходимости ремонта и проводит технический осмотр.

Приведем текущие эксплуатационные расходы табличной форме (таблица 10).

Таблица 10 - РСЭО

Наименование	Затраты, руб.
Годовые затраты на сырье и материалы	4182
Затраты на электроэнергию	27086
Амортизационные отчисления	93182
Затраты на заработную плату	458008
Итого затрат	582458

В данном разделе были найдены все затраты, которые предстоит покрывать после внедрения разрабатываемого проекта.

3.6 Расчет срока окупаемости проекта

Срок окупаемости – время, за которое необходимо для получения дохода после затрат, вложенных на инвестиции. Рассчитаем окупаемость через затраты только на энергоэффективность с учетом показателей из таблицы 10. Так как заработная плата не изменяется, то при расчета она не учитывается.

$$T_{\text{ок}} = \frac{714937}{288100 - 2282 - 74778} = \frac{714937}{211042} = 3,4 \text{ лет} \quad (40)$$

3.7 Составление сводной таблицы технико-экономических расчетов

Все основные и изменившиеся параметры для наглядности были сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Сводная таблица

Показатель	Базовая система	Разработанный привод	Отклонение Δ
Годовой объем производства, т	900000	900000	0
Производительность цеха, т/ч	111,07	111,07	0
Капитальные вложения на модернизацию, руб.	–	714937	714937
Затраты на электроэнергию, руб.	369360	81259	288100
Годовой фонд заработной платы, руб.	458008	458008	0
Годовые затраты на сырье и материалы, руб.	1900	4182	-2282
Стоимость обслуживания и эксплуатации, руб.	18403	93182	-74778
Чистая прибыль в результате модернизации, руб.	–	211042	211042
Срок окупаемости, лет.	–	3,4	–

Таким образом – срок окупаемости составляет менее трех с половиной лет, что является оправданным для непроизводственной системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выпускной квалификационной работы была произведена разработка мехатронной автоматизированной системы управления отоплением участка формовки цеха «Высота 239» ПАО ЧТПЗ по выбранной на производственной практике теме. В первую очередь был определен принцип управления отоплением, который был реализован в виде плавного изменения скорости вращения электродвигателя насоса, так как от этого напрямую зависит расход теплоносителя в трубопроводе. Выпускная квалификационная работа содержит в себе 3 части. В первой части по заданию на температуру были рассчитаны характеристики для подбора насосной станции. Частотно-регулируемые циркуляционные насосы выпускаются в виде цельного узла, поэтому был произведен расчет самого насоса и электродвигателя. Расчет был произведен для всех возможных режимов работы системы, расчет включает в себя напорно-расходные характеристики, угловая скорость, момент на валу и выходная мощность электродвигателя. Также были рассчитаны тепловая мощность и отбор тепла, присущие каждому режиму вращения вала электродвигателя.

В второй части была построена математическая модель системы, включающая в себя привод. Помимо отслеживания работы системы в общем виде были получены показатели качества переходных процессов. Хотя в общих расчетах и не учитывались динамические моменты, они были рассчитаны при пуске, равно как и время пуска двигателя, для построения математической модели. Была проведена обратная связь по температуре как внешняя обратная связь.

В третьей части была экономически доказана целесообразность внедрения разработанного проекта с учетом всех новых затрат на систему привода. Срок окупается в течение приемлемого промежутка времени.

Требования, предъявленные к приводу и системе автоматизации были подтверждены в ходе выполнения работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Производительность и экономичность в линейном помещении. – <https://konstruktor.net/podrobnee-elekt/mexatronika-v-dejstvii.html>
- 2 Проектирование автоматизированного электропривода насосного агрегата. – https://studbooks.net/1896764/matematika_himiya_fizika/predvaritelnyy_vybor_dvigat_elya_moschnosti
- 3 О компании ЧТПЗ. – <http://chelpipe.ru/about/>
- 4 Котельная, типы котельных. – <http://www.builderclub.com/statia/kotel'naya-tipy-kotelnyh-proyektirovaniye-trebovaniya-k-kotelnoy>
- 5 Каталог насосной продукции. – <https://ru.grundfos.com/>
- 6 Общие требования к приводам. – https://studopedia.ru/15_126582_obshchie-trebovaniya-k-privodam.html
- 7 Требования к системам комплексной автоматизации. – http://www.avacco.ru/page.asp?code=book_Glava5
- 8 Копп, О.А. Геотермальное отопление. Тепловые насосы / О.А. Копп, Н.М. Семенов// Научно-методический электронный журнал «Концепт» – 2017.
- 9 Лунева, С.К. К вопросу применения тепловых насосов / С.К. Лунева, А.С. Чистович, И.Х. Эмиров// Журнал «Технико-технологические проблемы сервиса» – 2005.
- 10 Расчет отопления по площади. – <https://otopleniedomov.com/otoplenie/raschet-otopleniya-po-ploshhadi-pomeshheniya-podrobnyjj-razbor-metodov.html>
- 11 Белоусов, В.В. Отопление и вентиляция, ч. 1 Отопление/ В.В. Белоусов – Москва: Издательство литературы по строительству, 1967 – 280 с.
- 12 Законы пропорциональности центробежного насоса. – <http://fiziku5.ru/uchebnye-materialy-po-fizike>
- 13 Каталог насосных узлов. – <http://www.rimos.ru/catalog/pump/40333>
- 14 ГОСТ 14254-2015. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP). Изд-во стандартов, 2015.

15 Втюрин, В.А. Основы АСУ ТП: учебное пособие / В.А Втюрин – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2006. — 154 с.

16 Siemens S7-300 Программируемый контроллер. – <https://www.siemens-pro.ru/components/s7-300.htm>

17 Станции распределенной периферии. – <https://w5.siemens.com/web/ua/ru/iadt/ia/fapa/rio/pages/et-200m.aspx>

18 Аманова Ш.Ю. Техничко-экономические расчеты по внедрению частотно-регулируемого электропривода в котельной АО «Каршимаслоэкстракция» / Ш.Ю. Аманова, К.Т. Абдуллаева// Молодой ученый. – 2015 – №4 – С. 246-250 с.

19 Попп, Т.В. определение экономической эффективности технических решений в дипломных проектах : учебное пособие / Т.В. Попп. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2014. – 103 с.