

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный профессионально-педагогический
университет»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Выпускная квалификационная работа бакалавра
по направлению подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение
(по отраслям)
профилю подготовки «Энергетика»
специализации «Управление производством: электроснабжение,
электромеханика и автоматика»

Идентификационный код ВКР: 338

Екатеринбург 2018

Министерство образования и науки Российской Федерации Федеральное
государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
«Российский государственный профессионально-педагогический
университет»
Институт инженерно-педагогического образования
Кафедра энергетики и транспорта

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:

Заведующий кафедрой ЭТ

_____ А.О. Прокубовская

« _____ » _____ 2018 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Исполнитель:

студент(ка) группы

(подпись)

Д.О. Кудрявцев

Руководитель:

ст. преподаватель кафедры ЭТ

(подпись)

В.В.Ипполитов

Нормоконтролер:

ст. преподаватель кафедры ЭТ

(подпись)

Т.В. Лискова

Екатеринбург 2018

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа содержит 62 листа печатного текста, 31 формул, 5 таблиц, 11 рисунков.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОПРИВОД, НАСОСНАЯ УСТАНОВКА, ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ, ПРОПОРЦИОНАЛЬНО ИНТЕГРАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР, РЕГУЛЯТОР ДАВЛЕНИЯ.

Кудрявцев Д.О. Проектирование автоматизированного электропривода насосной установки: выпускная квалификационная работа / Д. О. Кудрявцев; Рос. гос. проф.-пед. ун-т, Ин-т инж.-пед. образования, Каф. энергетики и транспорта. – Екатеринбург, 2018. – 62 с.

Краткая характеристика содержания ВКР:

1. Тема выпускной квалификационной работы «Проектирование автоматизированного электропривода насосной установки».
2. Цель работы: спроектировать автоматизированный электропривод насосной установки системы теплоснабжения.
3. В ходе выполнения выпускной квалификационной работы выполнен расчёт и выбор силового оборудования. Произведен анализ технологического процесса. Проведен расчёт и выбор электропривода. Проведён расчёт и выбор частотного преобразователя. Рассчитана система электроснабжения насосной станции, разработана структурная схема системы управления, определены параметры динамических звеньев. Синтезирован ПИ-регулятор напора. Выполнена экспертиза проекта на соответствие требованиям

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1. Технологическая часть	8
1.1 Анализ технологического процесса	8
1.2 Анализ работы оператора.....	11
1.3 Расчетная схема механической части электропривода.....	14
2. Конструкторская часть	15
2.1 Расчет параметров установки	15
2.2. Предварительный расчет мощности двигателя	17
2.3 Требования к автоматизированному электроприводу	19
2.4. Требования к системе автоматизации насосной установки	21
2.5. Предварительный выбор электродвигателя, преобразователя и устройств автоматизации	22
2.6 Проверка выбранных электродвигателей по перегрузочной способности и нагреву.....	23
2.6.1 Построение нагрузочных диаграмм и уточнение мощностей электродвигателей.....	23
2.6.2 Расчет параметров схемы замещения, построение естественной механической характеристики.....	25
2.6.3 Проверка выбранного электродвигателя по перегрузочной способности и перегреву	27
2.7 Расчет и проектирование силовой схемы автоматизированного электропривода.....	29
2.8 Разработка системы управления электроприводом.....	34
2.8.1 Разработка структурной схемы объекта управления	34
2.8.2 Синтез регулятора третьего контура и его свойства.....	37
2.8.3 Анализ математической модели системы автоматического управления (САУ).....	38
3. Методическая часть	41

3.1 Обоснование выбранной темы.....	41
3.2 Разработка тестовых заданий.....	41
Заключение	54
Список использованных источников	55
Приложение А	58
Приложение Б.....	59
Приложение В.....	60
Приложение Г	61
Приложение Д.....	62
Приложение Е.....	63

ВВЕДЕНИЕ

Разумное применение энергетических ресурсов и защита окружающей среды обозначили направление развития систем тепло – и водоснабжения. При изменении и планировании существующих механизмов водоснабжения чаще всего создается замкнутая и бессточная система. Насосная станция – основное звено в системе тепло – и водоснабжения, обеспечивающая создание водного потока.

Больше половины расходов электроэнергии в ЖКХ и промышленности приходится на электродвигатели. Также самыми энергозатратными системами приводов являются компрессоры, насосы и вентиляторы – установки с циклическим режимом нагрузки.

Из-за стремительного повышения цены на ресурсы и энергоносители, затраты на их производство, стали значительно больше, в следствии чего промышленные предприятия и предприятия ЖКХ ставят цель на понижения энерго – и ресурсоемкости. В наше время проблема энергосбережения имеет весьма актуальный характер. Исследования потребления энергоресурсов помогли решения данной проблемы, а именно:

Организационно-техническое мероприятие, чтобы исключить нецелесообразно расходование энергоресурсов.

Внедрение энергоэффективных технологий, а также энергосберегающего оборудования, с целью уменьшения затрат энергии на тот же объем работ.

При помощи централизации водо - и теплоснабжения разного типа зданий, можно достигнуть экономии энергетических ресурсов. Правильно организованная централизация производства пара и горячей воды для технологических, хозяйственных и отопительных нужд, постройка районных крупных котельных и ТЭЦ – играют важную роль в развития централизованного теплоснабжения. Такой прогресс подразумевает

строительство широко разветвленных и протяженных тепловых сетей с большим количеством тепловых пунктов направленных на увеличение количества потребителей.

Одной из основных систем энергетики является теплоснабжение всех объектов недвижимости. Главной целью системы теплоснабжения является обеспечение потребителей паром и горячей водой в необходимых объемах и требуемых параметрах.

В систему централизованного теплоснабжения (СЦТ) входят следующие процессы: выпуск и отпуск энергии, использование и транспортирование теплоносителя. Производство и отпуск теплоты при использовании органического или ядерного топлива осуществляется в котельных и ТЭЦ.

Главной энергосилой современного производства является электропривод, в свою очередь электроприводы с короткозамкнутыми двигателями преобладают в промышленности, потребляя до половины энергии потребляемой электроприводом.

Модернизации технологического оборудования способствует высокой динамике совершенствования регулируемых электроприводов, а также автоматизации с помощью компьютерных и информационных средств. Прогресс технологического оборудования стремится к повышению производительности не в ущерб качеству производимой продукции. Лидирующие электротехнические корпорации производят регулируемые электроприводы, комплектуемые компьютеризированными средствами автоматизации, представляя собой гибкую систему программирования, предназначенную для многофункционального использования. Средства, вложенные в такие системы, наиболее быстро окупаются. Одно из применений регулирующего электропривода совместно с дополнительными технологическими устройствами, может использоваться в качестве средств регулирования разнообразных технологических параметров, таких как температура, давление, уровень, производительность и дозирование.

Модернизация насосной установки путем замены энергоемкого оборудования, такого как электропривод насоса, на регулируемый позволит добиться цели энергосбережения. Внедрение и активное развитие систем диагностики, обслуживания и визуализации, позволит более корректно и удобно работать с технологическими процессами и процессами управления.

В сфере коммунального теплоснабжения, остро встает вопрос о уровне потребления электроэнергии, постоянное строительство новых жилых зданий только больше заставляет задуматься о реально достаточном уровне электроснабжения электродвигателей насосных установок, а также рациональном и экономном процессе подачи водо-и тепло энергии. В связи с этим данная тема проекта является актуальной.

Объектом исследования является асинхронный двигатель насоса.

Предметом исследования является математическая модель системы управления асинхронным двигателем.

Цель работы: спроектировать автоматизированный электропривод насосной установки системы теплоснабжения

Для реализации этой цели необходимо решить следующие задачи:

- произвести анализ технологического процесса;
- произвести расчет параметров установки;
- выбрать электропривод и частотный преобразователь;
- проверить двигатель на перегрузочные способности и нагреву;
- разработать систему управления электроприводом;
- разработать методическое обеспечение.

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Анализ технологического процесса

Специфические термины, используемые для описания технических установок данного вида:

Насос – это агрегат или специальное устройство, гидравлическая машина, преобразующий механическую энергию привода в напорное перемещение жидкости.

Насосный агрегат (НА) – совокупность насоса, электропривода и передаточного механизма, такого как: шкив, муфта, редуктор.

Насосная станция (НС) – комплексная система, включающее в себя определенное количество насосных установок, а также вспомогательные системы и оборудование. Теплофикационные насосные станции (тепловые пункты) предназначены для обеспечения объектов горячей водой в нужном количестве.

Насосная установка (НУ) – комплекс устройства, способных обеспечить нужный порядок работы насосов в насосных агрегатах. НУ состоит из единичного или многих насосных агрегатов, трубопроводов, запорной и регулирующей арматуры, контрольно-измерительной аппаратуры, а также аппаратуры управления и защиты [6].

Для экономной работы насосной установки существует ряд правил, основанных на изменении частоты вращения рабочих колес насоса, за счёт этого уменьшается потеря электроэнергии.

В современных НУ изменение частоты вращения насосов происходит при помощи автоматизированного электропривода (АЭП).

Под электроприводом имеется ввиду электромеханическая система, которая состоит из действующих друг с другом преобразователей, управляющих и информационных устройств, а также устройств сопряжения с

внешними электрическими, механическими, управляющими и информационными системами, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления им в целях реализации технологического процесса.

Обслуживаемые электроприводы нередко оказываются автоматизированными, следовательно, их процессы не нуждаются в контроле оператора.

Основными способами управления в электроприводах считаются программируемые микроконтроллеры и(или) промышленные компьютеры, таким образом АЭП принято считать компьютеризированным. Данное понятие применяется для интегрированных систем многодвигательных электроприводов, объединяемых с компьютерными средствами автоматизации и разветвленными информационными сетями в составе технологических агрегатов и комплексов.

При исследовании разных типов электроприводов используют многие способы их классификации (таблица 1).

Таблица 1 – Способы классификации электроприводов

Классификация	Виды
Движения электродвигателей	Вращательный, поступательный, линейный, многокоординатный
Способ соединения двигателя с исполнительным органом	Редукторный, безредукторный, конструктивно-интегрированный
Регулируемость	Нерегулируемый, многоскоростной, регулируемый
Число электродвигателей	Одно-, многодвигательный
Число исполнительных органов	Индивидуальный, групповой
Степень автоматизации	Ручной, полуавтоматический, следящий, позиционный, программный, стабилизирующий

К классификационным признакам относятся: функциональное назначение, принцип преобразования электрической энергии в механическую, структура электропривода, техническая реализация.

В следствии указанных выше направлений развития автоматизированных электроприводов ведущие электротехнические фирмы производят разработку и сбыт электроприводов. Основной и перспективной для рынка серии с большим количеством функций и структурными возможностями, многими разновидностями их технической реализации по правилам применения для самых различных машин и механизмов. В основных сериях электроприводов различных фирм можно отметить много похожих признаков. В классификационные потребительские признаки входят функциональные, конструктивные и энергосберегающие возможности электроприводов, их электромагнитную совместимость с технологической средой.

Соединение или распад систем более эффективно исполняется не только средствами и алгоритмами управления, но и применением параметров и свойств электрических, механических и функциональных компонентов автоматизированных технологических комплексов, то есть тех составляющих, которые стандартно относятся к объектам управления и при планировании систем считаются неизменными. При проектировании новых объектов или усовершенствовании действующих важно учитывать указанные выше факты.

С помощью усовершенствованных компьютеризированных электроприводов появляется возможность устранения многих функциональных задач связанных с управление технологического оборудования разнообразного функционального назначения, за счёт оснащённости большой базой программных средств. Эти средства распространяются на нижней (управление локальным оборудованием) и средний (координированное управление оборудованием) уровни управления ориентированы на связь с верхним (административным) уровнем.

Проектируемая насосная установка, должна обеспечивать следующие технические характеристики:

- номинальная подача воды 135 м³/ч;
- максимальная высота напора 66 м.

1.2 Анализ работы оператора

Система автоматического управления (САУ) имеет два режима управления: автоматический и ручной. Ручной режим позволяет оператору производить процесс переключения и регулирования насосов при изменении напора жидкости в сети. В этом режиме напор жидкой среды контролируется датчиками, при этом считаем, что температура жидкости регулируется ЦТП (центральный тепло пункт).

Автоматический режим, оставляет оператору только функцию наблюдения и контроля исправности СУ (системы управления).

Поступление тепловой энергии в систему коммунального потребления, характер расхода и распределение за сутки не линейны и зависят от числа потребителей на квартал, а также благоустройства здания. В проектной системе теплоснабжение жилого района прокладывается открытая система из двух труб – подающий и обратный, для подачи воды на отопление и ГВС. Схема такого теплового пункта представлена на рисунке 1 и в приложении А

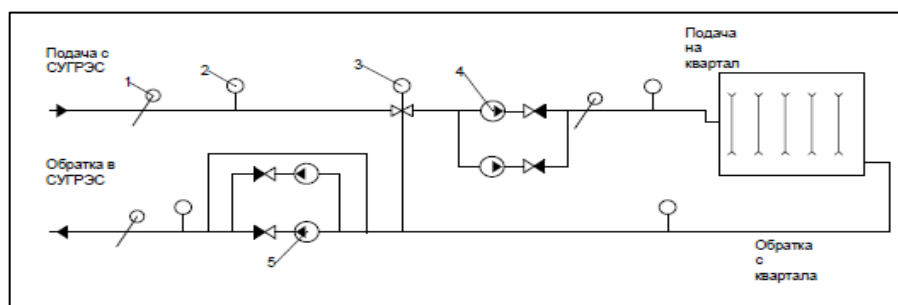


Рисунок 1 – Упрощенная схема теплового пункта:

- 1 - датчик температуры; 2 - манометр; 3 - трехходовой автоматизированный кран; 4 - насос подачи; 5 - насос обратка

Режим работы НУ подачи отопления задается режимом потребления и наличием напорно-регулирующих сооружений системы теплоснабжения.

Насосная станция теплоснабжения представляет собой коллектор, к которому через щитовой затвор подключены всасывающие линии двух насосов типа IL 80/220. Два насоса предусмотрены для безотказной системы теплового пункта. Первый насос- основной, второй- аварийный, функции насосов меняются, для равномерного износа и возможности произвести ремонт не останавливая теплопункт. Насосную систему с потребителями соединяют напорные водоводы. По проектному заданию на данной НУ теплового пункта системы теплоснабжения используются циркуляционные насосы с сухим ротором в исполнении Inline. Насосы IL 80/220 предназначены для подачи жидких сред температурой до 120 градусов.

Приводится в движение асинхронным двигателем АИС200LA2. Технические характеристики насоса приведены в таблице 2

Таблица 2 - Технические характеристики насоса типа IL 80/220

Наименование	Значение			
	1	2	3	4
Подача насоса, м ³ /ч	120	130	140	
Подача насоса, л/с	33,4	36,2	38,8	
Напор, м	62	61	58	
Частота вращения рабочего колеса, об/мин	2494	2697	2900	
Мощность насоса, кВт	28	28,4	29	
КПД насоса, %	91	91,4	92	

Окончание таблицы 2

1	2	3	4
Допустимая вакуумметрическая высота всасывания, м	6	7	9
Диаметр рабочего колеса, мм	2200		

Режим работы насосной установки определяем режимом водопотребления и наличием регулирующих сооружений системы теплоснабжения. В таблице 3 приведено примерное распределение среднесуточного расхода горячей воды по часам при среднем и общем коэффициенте неравномерности водоотведения $K_{\text{общ}}=1,3$ [6].

Таблица 3 - Примерное распределение среднесуточного расхода горячей воды по часам суток при среднем секундном расходе 30 л/с и коэффициенте неравномерности водоотведения $K_{\text{общ}}=1,3$

Часы суток	Часовой расход, %	Часы суток	Часовой расход, %
0.1	4,7	12.13	3
1.2	4,1	13.14	2,5
2.3	4,1	14.15	2,5
3.4	4,4	15.16	2,6
4.5	4,7	16.17	3,5
5.6	4,1	17.18	4,1
6.7	4,5	18.19	4,5
7...8	4,5	19.20	4,9
8.9	4,5	20.21	4,9
9.10	4,8	21.22	5,6
10.11	4,6	22.23	4,9
11...12	3,3	23...24	4,7

1.3 Расчетная схема механической части электропривода

Кинематическая схема механической части электропривода изображена на рисунке 2

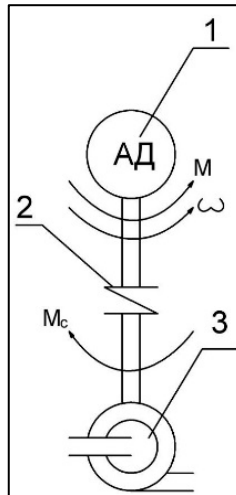


Рисунок 2 - Кинематическая схема электропривода:

1 – асинхронный электродвигатель; 2 – муфта; 3 – насос.

Составим одномассовую расчетную схему, на основании кинематической схемы электропривода (рисунок 3)

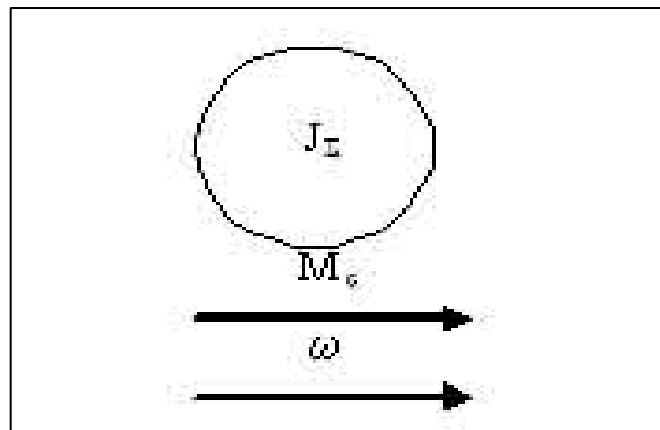


Рисунок 3 – Расчетная схема механической части электропривода:

J_2 - суммарный момент инерции электропривода; M_c - статический момент; ω - угловая скорость.

2. КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Расчет параметров установки

При подборе центробежных насосов для определенных установок нужно обладать информацией зависимости одних параметров от других. В качестве независимой переменной при построении характеристик используют подачу насоса Q , так как она непосредственно связана с расходом жидкой среды в системе трубопроводов данной насосной установки. Изменение остальных параметров насосного агрегата зависят от подачи.

Статической характеристикой сети (трубопровода) называется зависимость между расходом жидкости через трубопровод и напором H , который требуется для обеспечения этого расхода. Она описывается уравнением:

$$H_c = H_{ст} + R * Q_{ном}^2, \quad (2.1)$$

где $H_{ст}$ - статическая составляющая напора, в данном случае $H_{ст} = 0$;

R - сопротивление сети, не является постоянной величиной, изменяется в зависимости от состояния сети от $100R_б$ при отсутствии потребления воды из сети до $R_б$ при максимуме потребления воды из сети, здесь $R_б = \frac{H_{ном}}{Q_{ном}^2}$ - базовое сопротивление сети (сопротивление сети при максимальном потреблении воды из нее).

При отсутствии потребления воды из сети, сопротивление сети имеет значение $100R_б$ т.к. в этом случае идет сток воды через обратный трубопровод, а также имеются утечки воды (например, в неплотных соединениях и т.д.).

Результаты расчетов по формулам 2.1 и 2.2 в графическом виде приведены на рисунке 4.

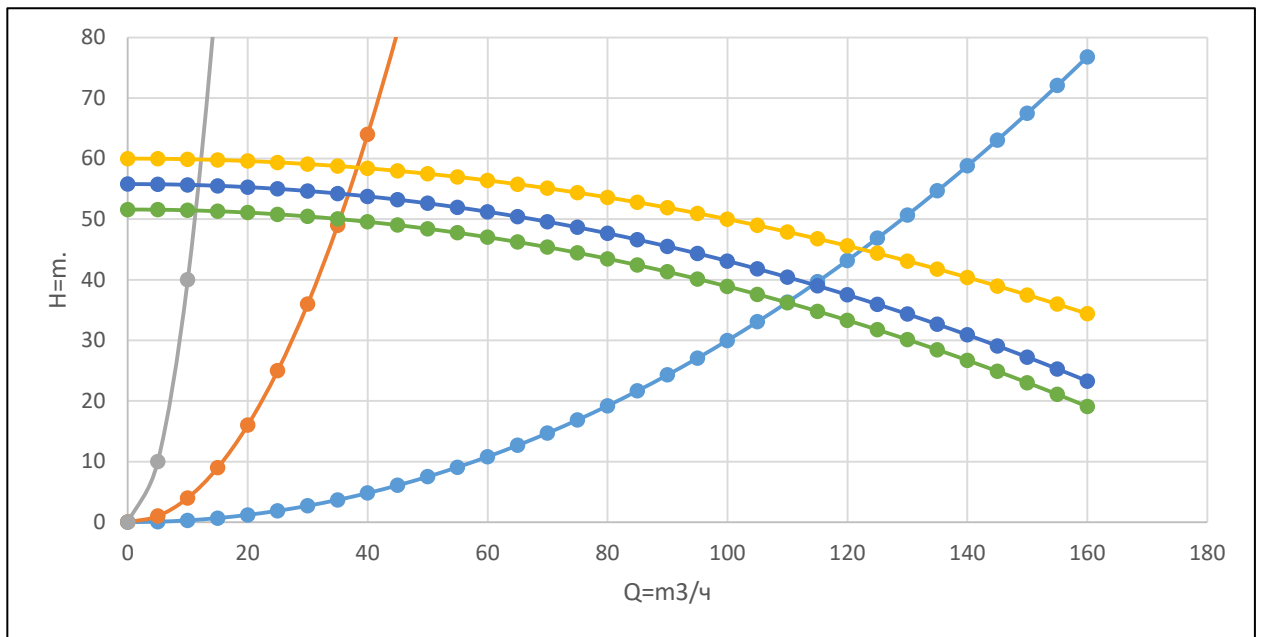


Рисунок 4 - Совмещенные статические характеристики

Статической (напорной) характеристикой насоса называется зависимость напора H от подачи насоса Q при постоянной частоте вращения n рабочего колеса.

$$H = H_0 \left(\frac{n}{n_{\text{ном}}} \right)^2 - C * Q^2 \quad (2.2)$$

где H_0 - напор, соответствующий нулевой подаче, $H_0 = H_{\text{ном}} + C * Q_{\text{ном}}^2$;

C - коэффициент, определяемый как $C = \frac{H_1 - H_{\text{ном}}}{Q_{\text{ном}}^2 - Q_1^2}$, здесь $H_1 = 60$ м;

$Q_1 = 135$ м³/ч - некоторые точки на характеристике насоса;

n , $n_{\text{ном}}$ - соответственно текущая и номинальная скорость вращения насоса.

Характеристики строим для $n_{\text{ном}} = 2900$ об/мин; 2697 об/мин; 2494 об/мин что необходимо для поддержания напора соответственно при максимальном потреблении воды из сети, потреблению воды из сети равному 50%

По формулам 2.1 и 2.2 строим совмещенные статические характеристики сети (трубопровода) и насоса (турбомеханизма). Данные характеристики, были рассчитаны и построены на ЭВМ при помощи программы EXCEL.

2.2. Предварительный расчет мощности двигателя

Исходными данными для определения требуемой мощности электродвигателя (кВт) являются секундная подача насоса $Q(\text{м}^3/\text{с})$ и напор $H(\text{м})$. Подачу и напор насоса принимают по режимной (рабочей) точке работы системы «насосы-сеть».

Мощность на валу насоса обычно указывают в паспорте насоса или в каталоге. Ее величина, взята с запасом, соответствует подаче и напору для предельных точек рабочей части характеристики данного типа насоса.

Однако не всегда расчетные параметры подачи и напора совпадают с параметрами характеристики $H=f(Q)$. В этих случаях возникает необходимость в определении мощности на валу насоса и требуемой мощности приводного двигателя. Мощность насоса (кВт) определяется по формуле (2.3).

Мощность приводного двигателя насоса принимают больше мощности, потребляемой насосом, на случай перегрузок от неучтенных условий работы.

В соответствии с ГОСТ 22247-96 коэффициент запаса мощности принимают в зависимости от мощности на валу насоса k_3 (таблица 4).

Таблица 4 – Коэффициент запаса мощности

N_H	До 20 кВт	От 20 до 50 кВт	От 50 до 300 кВт	Свыше 300 кВт
m	1,0	1,25	1,15	1,5

Коэффициент запаса мощности зависит также от соотношения мощности на валу насоса при расчетных значениях подачи и напора, а также ближайшего значения мощности двигателя, паспортные данные которого соответствуют условиям работы насосного агрегата.

При определении мощности на валу насоса подачу насоса обычно принимают наибольшую из рассматриваемых режимов работы насосной установки.

При выборе электродвигателя к насосам необходимо знать мощность, а также частоту вращения, напряжение в сети, тип и исполнение двигателя.

Каждый двигатель независимо от его типа характеризуется номинальными данными. Номинальный режим двигателя соответствует максимальному КПД и удовлетворяет установленным нормам и требованиям в отношении нагрева, коэффициента мощности, электрической прочности. Поэтому при подборе электродвигателя необходимо стремиться подобрать мощность двигателя как можно ближе к номинальной.

Определим мощность двигателя, необходимую для привода насоса. Исходя из [15] получаем:

$$P = \frac{\rho * g * Q_{\text{ном}} * H_{\text{ном}} * k_3}{1000 * \eta_{\text{ном}}}, \quad (2.3)$$

где $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ - плотность перекачиваемой жидкости (воды);

$k_3 = 1.25$ - коэффициент запаса;

$Q_{\text{ном}}$ ($\text{м}^3/\text{с}$) и $H_{\text{ном}}$ (м)-параметры насоса;

$g = 9,81 \text{ кг/м} * \text{с}^2$ - ускорение свободного падения;

$\eta_{\text{ном}} = 92 \%$ - номинальный КПД насоса.

Подставив необходимые значения в формулу (2.3), получаем, что мощность, необходимая для приведения насоса в движение равна 29.9 кВт.

Расчетная мощность всего насосного агрегата

$$P_{a \text{ рас}} = \frac{P_{n \text{ рас}}}{\eta_{\text{д}} * \eta_{\text{чп}}}, \quad (2.4)$$

где $\eta_{\text{д}}$ - КПД электродвигателя;

$\eta_{\text{чп}}$ - КПД частотного преобразователя.

$$P_{a \text{ рас}} = \frac{29,9}{0,92 * 0,95} = 34,3 \text{ кВт}, \quad (2.5)$$

2.3 Требования к автоматизированному электроприводу

Насосом называют механизм, длительность работы которого значительно больше, чем состояние неактивности. Вал приводного двигателя не перегружается. Диапазон регулирования частоты не выше как правило 2.

Вал механизма имеет только вентиляторную функцию, следовательно, сопротивление статистического момента на валу механизма пропорционально скорости в квадрате.

Стандартным функционированием электропривода считается его устойчивость к высокой влажности и умеренно высокой температуре, а также наличие высоких показателей надёжности. В данных условиях наилучшим вариантом будет использование асинхронного электродвигателя с коротко замкнутой ротором, питание которого осуществляется от преобразователя частоты. АД КР имеет ряд преимуществ таких как отсутствие контактных соединений (щеток), надёжность, не высокую цену, а с помощью преобразователя частоты возникает возможность получить достаточно точное регулирование скорости АД КР.

Станция управления насосными агрегатами состоит из системы контроля и управления СУ, преобразователя частоты ПЧ, коммутационной аппаратуры, устройства плавного пуска УПП.

Использование регулируемого асинхронного электропривода для управления насосными агрегатами даёт возможность обеспечить:

- плавный пуск электродвигателя, отсутствие механических нагрузок на двигатель и бросков тока в сети;
- отсутствие гидравлических ударов;
- эффективное использование потребляемой насосным агрегатом мощности во всем диапазоне регулирования;
- обеспечение коэффициента мощности электродвигателя насоса на значении, близком к 1;
- снижение уровня шума при пуске и работе;

- обеспечение автономной и безопасной работы, интеграция в АСУ Т

П.

Электропривод центробежного насоса, который рассматривается, должен удовлетворять следующим требованиям:

- поддержка постоянного напора в системе водоснабжения с точностью не ниже 1% и возможность, при необходимости, ручного регулирования его уровня;

- исходя из технологического процесса, требования к восстановлению давления при наброске нагрузки составляет не больше 2 с;

- обеспечение режима плавного пуска от задатчика интенсивности за время 1-5 с;

- наличие защиты от неблагоприятных режимов работы насосной станции:

- защита от КЗ;
- защита от перегрузки по току;
- защита от превышения температуры обмотки двигателя;
- защита от пропадания и перекоса фаз;
- защита электронасосных агрегатов от работы в квантованном режиме;
- индикация на лицевой панели «Сеть» «Работа» «Авария»
- выбор режима работы «Ручной» / «Автоматический»;
- диспетчеризация: «Авария» каждого электронасоса («сухие» контакты);

- привод должен быть нереверсивным;

- электропитание установки осуществляется от трехфазной сети переменного тока 380/220 В, 50 Гц;

- обеспечивать режим максимальной экономии при регулировании скорости.

Исходя из выше представленного материала можно сформировать требования, предъявляемые к электроприводу, а именно: охват управления скорости 3:1, торможение выбегом, защитная степень IP55, способность перегрузки не меньше 1,5, климатическое исполнение УХЛ4, пуск насосного агрегата и развитие до заданной скорости должно быть плавным.

2.4. Требования к системе автоматизации насосной установки

Для ускорения и точности технологического процесса производится автоматизация производственных машин. В полностью автоматизированных процессах человеческий фактор теряет свою актуальность, оставляя лишь функции корректировщика и наблюдателя. Рациональным является подход автоматизирования с помощью программируемых контроллеров (микропроцессорных схем), которые позволяют изменить логику на программное управление, увеличить гибкость и надёжность управления системы.

К автоматизированной системе управления предъявляются следующие требования:

- система управления должна обеспечивать контроль минимального, максимального и аварийного расхода;
- в случае аварии рабочего насоса запуск резервного;
- регулирование скорости вращения электродвигателя для нормализации нужного напора жидкости в системе;
- систематическая замена основного агрегата насоса, стабилизирующего подачу жидкости в систему;
- запуск и выключение резервного насоса в зависимости от текущего расхода;
- плавный пуск агрегата и разгон до заданной скорости;
- защита приводных двигателей насосных агрегатов от тепловых перегрузок;

- измерение нужного напора в зависимости от расхода;
- при исчезновении напряжения питания автоматический разгон насосного агрегата.

2.5. Предварительный выбор электродвигателя, преобразователя и устройств автоматизации

В качестве электропривода для проектируемой установки применим трехфазный асинхронный электропривод, построенный по системе ПЧ-АД КЗР. Действительно, применение системы ПЧ-АД позволяет плавно изменять скорость привода в достаточно широких пределах, что должно обеспечить плавное регулирование напора в насосной установке, и, в итоге, значительно уменьшить количество энергии, потребляемой насосной установкой.

Автоматизировать установку предлагается внедрением программируемого контроллера. В функции контроллера в таком случае будут входить: выработка задания для электропривода в зависимости от напора в сети; осуществление переключения основного и резервного насосов при выходе из строя основного; диагностика состояния элементов установки; подключение дополнительного насоса при перегрузке основного; выдача аварийных сигналов в диспетчерскую службу.

В соответствии с техническими данными насоса, рассчитанной предварительно мощностью двигателя (см. п. 2.2), а также, согласно выбранной системы электропривода, предварительно выбираем трехфазный асинхронный двигатель АИС200LA2 с короткозамкнутым ротором, с номинальными техническими характеристиками, приведенными ниже [15]:

- номинальная мощность: 30 кВт;
- синхронная частота вращения: 3000 об/мин;
- номинальное скольжение: 2,5%;
- номинальный КПД: 92%;
- номинальный $\cos\varphi = 0,9$;

- $M_{\max}/M_{\text{ном}} = 2,2$;
- $M_{\text{п}}/M_{\text{ном}} = 2$;
- критическое скольжение: 12,5%;
- кратность пускового тока: $I_{\text{п}}/I_{\text{ном}} = 7,5$;
- момент инерции двигателя: 0,07 кг*м².

Степень защиты выбранного двигателя – IP55, обеспечивает защиту от пыли (без осаждения опасных материалов), обеспечивает защиту от струи: вода, направленная струёй на оболочку в любом направлении не должна оказывать вредного влияния на изделие.

Способ охлаждения ICAO141 - закрытая машина с ребристой или гладкой станиной, обдуваемой внешним вентилятором, расположенным на валу машины.

2.6 Проверка выбранных электродвигателей по перегрузочной способности и нагреву

2.6.1 Построение нагрузочных диаграмм и уточнение мощностей электродвигателей

Исходя из примерного распределения среднесуточного расхода горячей воды по суткам (см. пункт 1.2., таблица 3) можно построить график водопотребления, приведенный на рисунок 5, считая при этом, что расход горячей воды в течение суток равномерен.

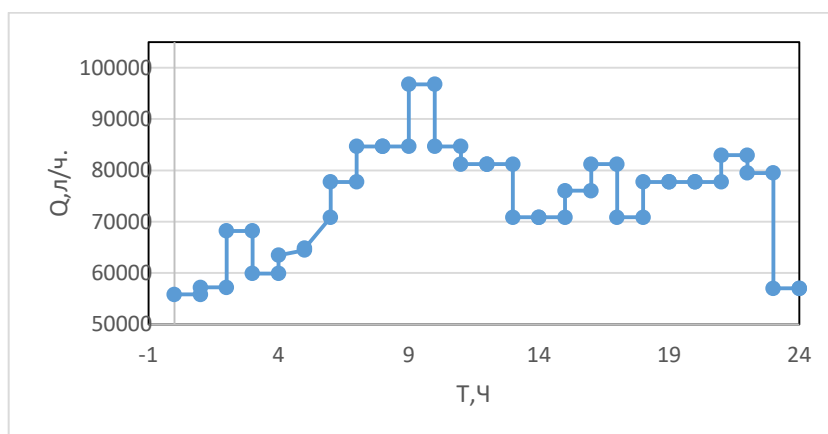


Рисунок 5 - Примерный график водопотребления

Исходя из графика потребления горячей воды, можно построить диаграммы скорости и момента насоса, и, соответственно двигателя, учитывая, что подача жидкости пропорциональна скорости, а момент турбомеханизма пропорционален квадрату скорости насоса.

Коэффициент пропорциональности для скорости найдем из уравнения:

$$Q_2 = Q_1 * (n_2/n_1), \quad (2.6)$$

где Q_1 и Q_2 - подача насоса, при скорости насоса соответственно n_1 и n_2 .

Таким образом, получаем:

$$Q_2 = k * n_2 = (n_1/Q_1) * n_2. \quad (2.7)$$

Подставляя в уравнение 3.2 номинальные данные насоса из таблицы 1.2, получаем, что коэффициент пропорциональности

$$k = 2900/19 = 152 \text{ (л/с} \cdot \text{об/мин)}.$$

Момент насоса для относительной скорости можно определить, как:

$$M_{нас} = M_0 + 0,95M_{нас} * \omega^{*2}, \\ 4,95 + 0,95 * 99 * 0,93^2 = 86,2, \quad (2.8)$$

где M_0 - момент, определяемый силами трения в механизме, принимаем равным 5% от номинального момента насоса;

$M_{нас}$ - номинальный момент насоса, определяем, как

$$M_{нас} = P_{нас} / \omega_{нас},$$

$$M_{нас} = 99 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $P_{нас}$ и $\omega_{нас}$ - соответственно номинальные мощность и частота вращения

насоса;

ω^* - относительная скорость насоса: $\omega^* = \omega/\omega_n = 0,93$.

Исходя из формул 2.6, 2.7 и графика водопотребления (рисунок 5) строим нагрузочные диаграммы механизма, приведенные на рисунке 6.

Как видно из диаграммы (рисунок 6) нагрузка имеет продолжительный характер, следовательно, имеем продолжительный режим работы установки (S1). Поэтому проверять выбранный двигатель можно без учета динамических режимов работы.

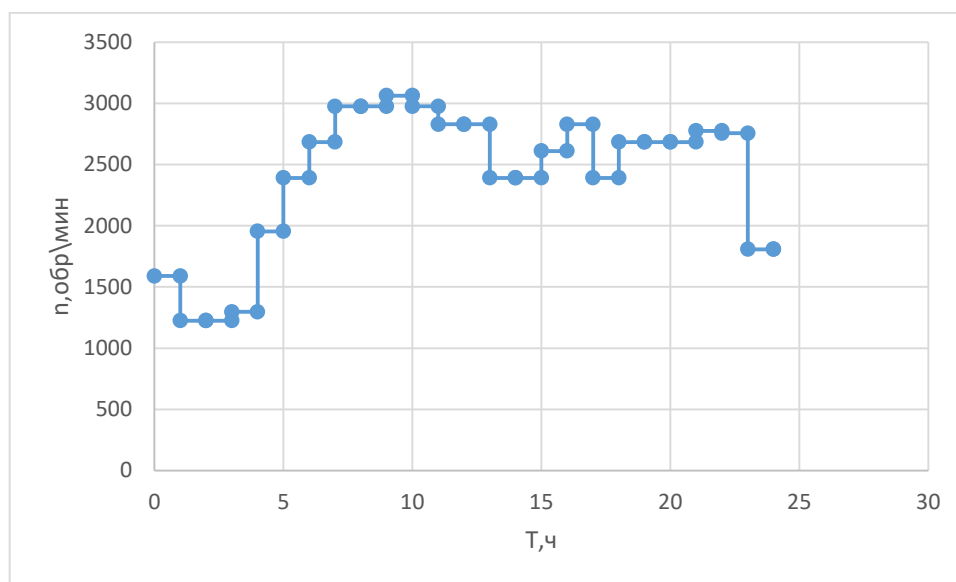


Рисунок 6 – Скорость работы двигателя

2.6.2 Расчет параметров схемы замещения, построение естественной механической характеристики

Произведем расчет естественной статической характеристики выбранного двигателя.

Для этого рассчитаем параметры схемы замещения асинхронного двигателя по паспортным данным:

Полное сопротивление короткого замыкания:

$$Z_k = \frac{U_{\text{фн}}}{\lambda_1 \cdot I_{\text{н}}} = \frac{220}{(7,5 \cdot 55)} = 0,5 \text{ Ом}, \quad (2.9)$$

где $U_{\text{фн}} = 220 \text{ В}$ - номинальное фазное напряжение;

$$I_{\text{н}} = P_{\text{н}} / (3U_{\text{ф. н}} \eta_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{н}}) = 55 \text{ А};$$

$\lambda_1 = 7,5$ - кратность пускового тока.

Пусковой коэффициент мощности:

$$\cos \phi_{\text{пуск}} = \cos \phi_{\text{н}} * \left(\frac{\lambda_1 * \eta_{\text{н}}}{\lambda_1 * (1 - s_{\text{н}})} + \gamma_{\text{ст}} (1 - \eta_{\text{н}}) \right) = 0,274, \quad (2.10)$$

где $\cos \phi_{\text{н}} = 0,88$ - номинальный коэффициент мощности;

$\eta_{\text{н}} = 0,92$ - номинальный КПД;

$s_{\text{н}} = 0,02$ - номинальное скольжение;

$\gamma_{\text{ст}} = 0,3$ - отношение потерь в обмотке статора к полным потерям при номинальной нагрузке;

$\lambda_{\text{п}} = 2$ - кратность пускового момента.

Активное пусковое сопротивление короткого замыкания:

$$R_{\text{к}} = Z_{\text{к}} * \cos \phi_{\text{пуск}} = 0,137 \text{ Ом}. \quad (2.11)$$

Индуктивное пусковое сопротивление короткого замыкания:

$$X_{\text{к}} = \sqrt{Z_{\text{к}}^2 - R_{\text{к}}^2} = 0,479 \text{ Ом} \quad (2.12)$$

Индуктивные сопротивления фаз статора и ротора [11], Ом:

$$X_1 = 0,29; X'_2 = 0,43. \quad (2.13)$$

Критическое скольжение: $s_{\text{к}} = 12\%$.

Приведенное активное сопротивление фазы ротора, Ом: $R'_2 = 0,071$.

Активное сопротивление фазы статора, Ом: $R_1 = 0,12$.

Критический момент:

$$M_{\text{к}} = \frac{3 * U_{\text{фн}}^2}{2 * \omega_{0\text{н}} * (R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{\text{к}}^2})} = 370 \text{ Н * м}. \quad (2.14)$$

Ток холостого хода:

$$I_0 = I_{\text{н}} * \left(\sin \phi_{\text{н}} - \frac{s_{\text{н}}}{s_{\text{к}}} * \cos \phi_{\text{н}} \right) = 18,4 \text{ А}. \quad (2.15)$$

Приведенный ток ротора описывается уравнением

$$I'_2 = \sqrt{\frac{M * \omega_0 * s}{3 * R'_2}} = 52 \text{ А}. \quad (2.16)$$

Потери на намагничивание:

$$\Delta P_{cm} = 0,02 * P_{ном} / \eta_{ном} = 206 \text{ Вт}. \quad (2.17)$$

Активное сопротивление ветви намагничивания:

$$R_{\mu} = \frac{\Delta P_{cm}}{3 * I_0^2} = 0,2 \text{ Ом}. \quad (2.18)$$

Индуктивное сопротивление ветви намагничивания: $X_{\mu} = 12 \text{ Ом}$.

Электромагнитная постоянная времени электродвигателя:

$$T_{\sigma} = \frac{1}{2\pi * f * s_k} = \frac{1}{2 * 3,14 * 50 * 0,026} = 0,026. \quad (2.19)$$

2.6.3 Проверка выбранного электродвигателя по перегрузочной способности и перегреву

Как было указано выше, проектируемая установка работает в длительном режиме, поэтому для проверки двигателя достаточно проверить три точки при относительной скорости $\omega^* = \omega/\omega_n$, равной 0,5; 0,75; 1, с учетом ухудшений условий охлаждения при пуске двигателя.

Рассчитаем величины необходимые для проверки двигателя по перегрузочной способности и по нагреву.

Определим синхронную частоту вращения двигателя:

$$\omega_0 = \pi * n_0 / 30 = 3,14 * 3000 / 30 = 314 \text{ рад/с}. \quad (2.20)$$

Определим номинальную частоту вращения двигателя:

$$\omega_n = \omega_0 (1 - s_n) = 314 (1 - 0,02) = 307 \text{ рад/с}. \quad (2.21)$$

Определим номинальный момент двигателя:

$$M_n = P_n / \omega_n = 30000 / 307 = 97,7 \text{ Н*м}. \quad (2.22)$$

Момент насоса для любой относительной скорости ω^* можно определить, как [6]:

$$M_{нас} = M_0 + 0,9 * M_n * \omega^{*2}, \quad (2.23)$$

где M_0 – момент, определяемый силами трения в механизме, принимаем

равным 5% от номинального момента насоса, N^*m ;

M_n - номинальный момент насоса, определяем, как:

$$M_{нас} = P_{нас} / \omega_{нас} = 26000/303,5 = 85,6 \text{ Н}^*m,$$

где $P_{нас}$ и $\omega_{нас}$ - соответственно номинальные мощность и частота вращения насоса.

Расчетный момент двигателя определяем с учетом ухудшения условий охлаждения при пуске двигателя, для учета ухудшения условий охлаждения введем коэффициент k_y , значения которого принимаем согласно рисунку 7.

Таким образом, формула для расчетного момента двигателя будет иметь вид:

$$M_{расч} = k_y * M_{нас}. \quad (2.24)$$

Исходя из вышеизложенных соображений для первого случая ($\omega^*=1$) имеем:

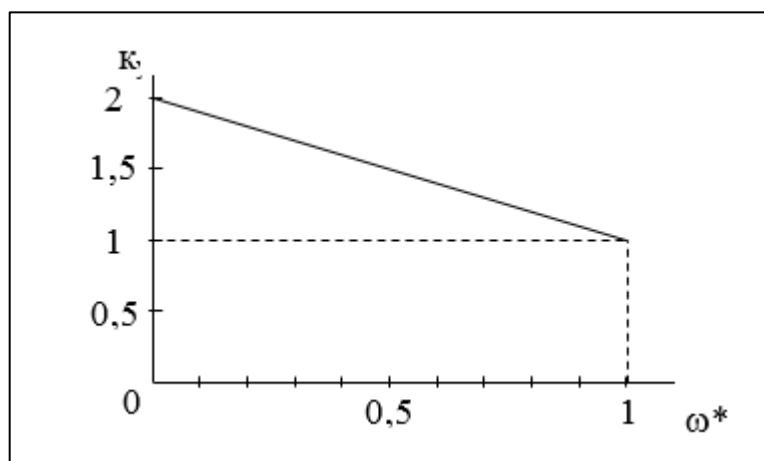


Рисунок 7 - Зависимость коэффициента ухудшения охлаждения от скорости

$$M_{нас} = 0,05 * 85,6 + 0,95 * 85,6 * 1 = 85,6 \text{ Н}^*m;$$

$$M_{расч} = 21,41 * 1 = 85,6 \text{ Н}^*m.$$

Для второго случая ($\omega^*=0,75$) получаем:

$$M_{нас} = 0,05 * 85,6 + 0,95 * 85,6 * 0,75^2 = 50,02 \text{ Н}^*m;$$

$$M_{расч} = 12,51 * 1,25 = 62,5 \text{ Н}^*m.$$

Для третьего случая ($\omega^*=0,5$) получим:

$$M_{нас} = 0,05*85,6 + 0,95*85,6*0,5^2 = 24,6 \text{ Н*м};$$

$$M_{расч} = 24,6*1,5 = 36,9 \text{ Н*м}.$$

Так как для всех трех случаев расчетный момент двигателя с учетом ухудшения охлаждения, меньше чем номинальный момент двигателя ($M_{расч} < M_N$), то, следовательно, двигатель удовлетворяет и условиям перегрузки, и условиям перегрева.

2.7 Расчет и проектирование силовой схемы автоматизированного электропривода

Для питания электродвигателей привода насосов, которые предварительно выбраны в пункте 2.5 и проверены по нагреву и перегрузке в пункте 2.6 мы будем использовать преобразователь частоты Vacon 100 industrial производство Васса, Финляндия.

Данный преобразователь предназначен для частотного управления асинхронными трехфазными электродвигателями мощностью до 37 кВт.

Область применения преобразователя: насосные станции водо - и теплоснабжения в жилищно-коммунальном хозяйстве, энергетике, технологические насосные установки в химической промышленности, станции оборотного водоснабжения на предприятиях машиностроительной и других отраслей промышленности.

Примерная упрощенная схема силовых цепей этого преобразователя показана на рисунке 8. Все элементы данной схемы рассчитаны и поставляются в составе преобразователя.

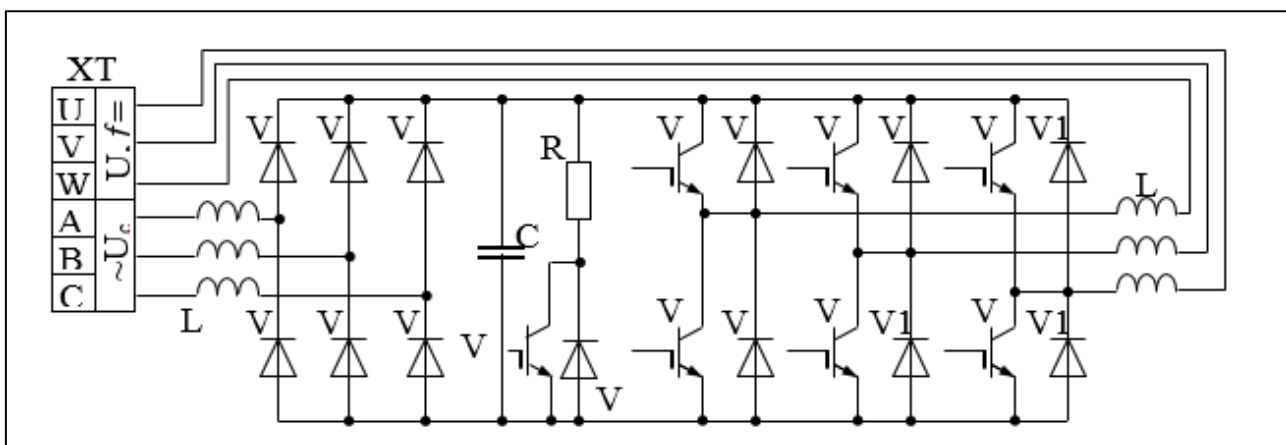


Рисунок 8 - Упрощенная схема силовых цепей преобразователя частоты

Основные параметры преобразователя частоты типа 100 industrial:

- номинальное напряжение питающей сети $3 \times 380-500$ В, 50/60 Гц;
- номинальное напряжение питания приводного двигателя 3×380 В, 50 Гц;
- номинальная мощность приводного двигателя - не более 3.4 – 1180 кВт, в зависимости от конструктивного исполнения преобразователя (принимается преобразователь 000-3L-0072-5-0140-2, рассчитанный на мощность приводного двигателя до 37 кВт);
- диапазон регулирования частоты от 2,5 до 60 Гц;
- форма выходного напряжения - импульсная, модулированная по гармоническому закону, обеспечивает квазисинусоидальную форму тока во всем диапазоне регулирования выходной частоты;
- коэффициент полезного действия преобразователя в номинальном режиме - не менее 0,9;
- коэффициент мощности преобразователя - не менее 0,95;
- преобразователь частоты предназначен для работы в закрытых отапливаемых помещениях в районах с умеренным климатом, климатическое исполнение УХЛ, категория размещения 4 ГОСТ 15150-69;

- окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая агрессивных паров и газов в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию, не насыщенная токопроводящей пылью;

- температура окружающей среды - $0...+40^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха - до 100%;

- степень защиты шкафа IP54.

Преобразователь частоты обеспечивает:

- плавный запуск электродвигателя с заданным темпом;
- плавный само запуск с тем же темпом после восстановления питающего напряжения;

- регулирование (в соответствии с задающим сигналом), например, давления, развиваемого насосом в замкнутой системе регулирования давления;

- работу в нерегулируемом режиме с ручным заданием частоты напряжения питания электродвигателя;

- защиту электродвигателя и преобразователя от токов перегрузки и короткого замыкания;

- защиту электродвигателя от недопустимого снижения и превышения напряжения питающей сети;

- выработку сигналов для подключения к системе нерегулируемого электродвигателя резервного насоса и отключения его по мере необходимости;

- преобразователь имеет световую сигнализацию наличия напряжения питания и включенного состояния, индикацию частоты питания электродвигателя, срабатывания каналов защиты.

Преобразователь частоты может работать в следующих режимах:

Режим ручного управления с заданием частоты выходного напряжения от пульта управления: частота задается перед подключением преобразователя к нагрузке (электродвигателю); при работе ПЧ разгоняется

до заданной частоты и работает на ней сколь угодно долго, в этом режиме сигнал от датчика внешней технологической координаты не влияет на работу электропривода, при включении привода в замкнутый контур регулирования по внешнему технологическому параметру этот режим работы электропривода может использоваться как отладочный.

Режим автоматического регулирования частоты выходного напряжения по сигналу от датчика внешней технологической координаты: частота выходного напряжения выбирается автоматически, в зависимости от текущей величины сигнала, поступающего в систему управления от датчика внешнего технологического параметра (датчика давления).

Сглаживающий дроссель L1 выбираем из расчета того, что его индуктивность должна быть как можно больше, а падение фазного напряжения на нем не должно превышать 3%. Тогда, входную мощность преобразователя определим, как:

$$P_{вх} = P_{эд} / (\eta_{эд} * \eta_{пр}), \quad (2.25)$$

где $P_{эд}$ - мощность приводного двигателя;

$\eta_{эд}$ - КПД приводного двигателя;

$\eta_{пр}$ - КПД преобразователя.

С учетом параметров, выбранных электродвигателя и преобразователя после расчетов по формуле 2.25 получаем: $P_{вх} = 30 / (0,92 * 0,9) = 35 \text{ кВт}$.

Можно определить входной ток фазы преобразователя:

$$I_{вх} = P_{вх} / (3 * k_m * U_{фн}), \quad (2.26)$$

где k_m - коэффициент мощности преобразователя;

$U_{фн}$ - номинальное фазное напряжение сети.

После расчетов по формуле 2.26 получим:

$$I_{вх} = 35000 / (3 * 0,95 * 220) = 55,8 \text{ А}.$$

Задавшись допустимым падением фазного напряжения на дросселе 3% от номинального, можно найти реактивное сопротивление дросселя:

$$X = \Delta U_{\text{дон}} / I_{\text{ex}}. \quad (2.27)$$

Произведя расчет по формуле 4.3, получаем: $X=220 \cdot 3\% / 55.8=0,118 \text{ Ом}$.

Зная индуктивное сопротивление легко найти индуктивность дросселя:

$$L = X / 2\pi f, \quad (2.28)$$

где f - частота питающего напряжения.

Таким образом, в соответствии с формулой 2.28 получаем:

$$L=0,434/314=0,00138 \text{ Гн}.$$

Исходя из приведенных выше расчетов, предполагаем изготовить на заказ сглаживающий дроссель L1 со следующими параметрами:

- индуктивность катушки - $L=0,59 \text{ мГн}$;
- допустимая мощность рассеяния $P_{\Sigma}=2\%$, $P_{\text{вх}}=190 \text{ Вт}$.

Сглаживающий дроссель L2 должен иметь индуктивность согласно документации, на преобразователь [11], приблизительно равную индуктивности статора двигателя. Причем допустимая мощность рассеяния дросселя L2 не должна превышать 2% от номинальной мощности двигателя. Таким образом, предполагаем изготовить на заказ сглаживающий дроссель L2 со следующими параметрами:

- индуктивность катушки $L=2 \text{ мГн}$;
- допустимая мощность рассеяния $P_{\Sigma}=2\%$, $P_{\text{эд}}=600 \text{ Вт}$.

На основании сформулированных требований к электроприводу и системе автоматизации, а также выбранной системы электропривода можно заметить, что существует необходимость работы насосной установки в ручном и автоматическом режиме с периодической сменой резервного насоса и подключением, в случае необходимости, дополнительного насоса. С учетом указанных выше переключений можно составить принципиальную схему силовых цепей насосной установки. Разработанная принципиальная схема силовых цепей приведена на рисунке 9 и в приложении Б.

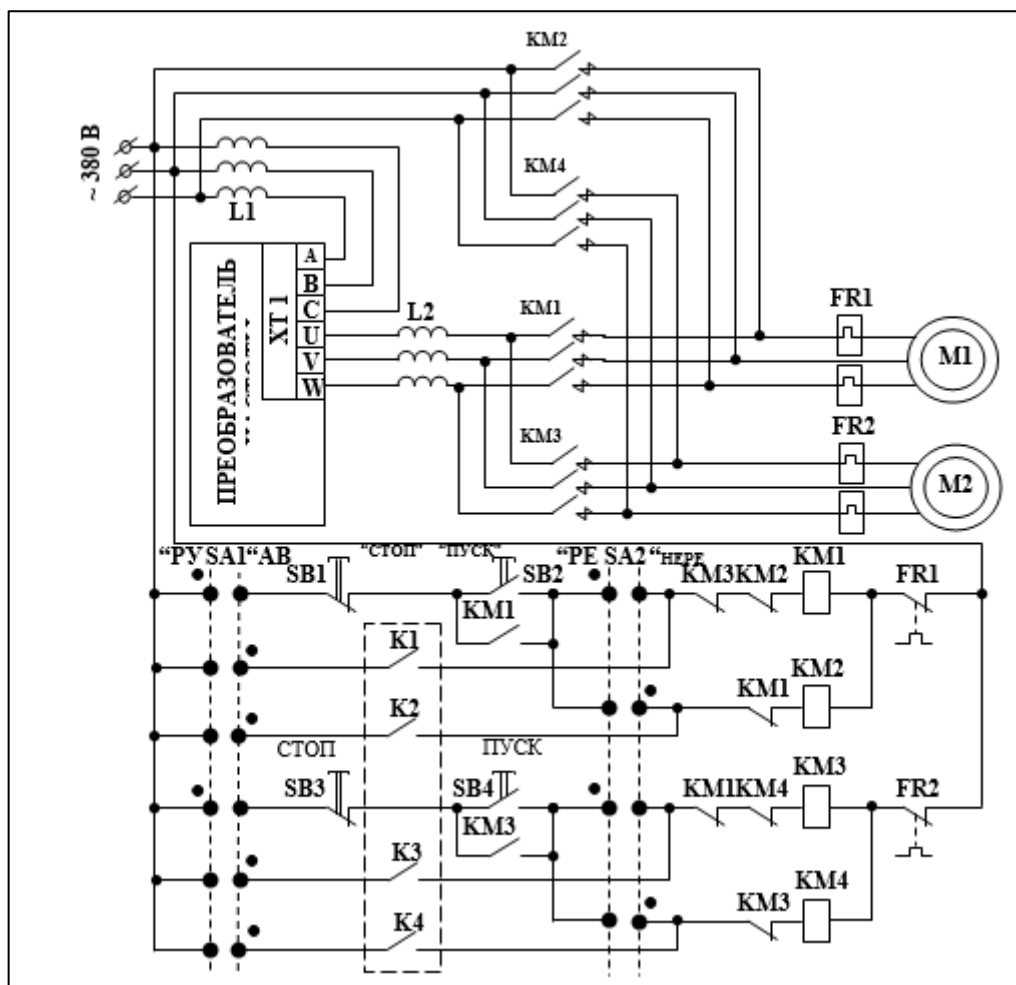


Рисунок 9 – Упрощенная схема силовых цепей

2.8 Разработка системы управления электроприводом

2.8.1 Разработка структурной схемы объекта управления

Для получения значения постоянных времени интегрирования и коэффициентов И-интегральной и П-пропорциональной части регулятора давления, изучения особенностей работы электропривода насоса, проведем моделирование его работы с помощью математической модели реализованной в среде программного пакета Matlab с помощью приложения Simulink [14].

Для построения математической модели, Simulink предоставляет необходимое количество библиотек, в которых имеются всевозможные

элементы, необходимые для структурных схем. Это элементы наглядного представления, такие как осциллограф, XY граф; различные типы звеньев: пропорциональное, аperiodическое, интегрирующее; различные ограничители, сумматоры; всевозможные источники: константы, генераторы и т.д. Соответственно задача проектирования заключается в воссоздании структуры системы автоматического управления (САУ) с реализацией в ней математической модели рассматриваемого автоматизированного электропривода. В зависимости от цели и объема решаемой задачи, в модель заносятся расчетные данные каждого элемента структуры в относительных единицах. В процессе вычисления имеется возможность вводить необходимые воздействия на систему (по возмущению и по управлению), в результате чего получить осциллограммы различных процессов.

Построение модели электропривода насоса необходимо провести так, чтобы модели вентилятора и двигателя насоса использовали общую величину - скорость вращения ротора. В данном случае будет использоваться электрическая угловая скорость.

Величина давления, создаваемая насосом описывается следующим выражением: зависимость получаемого давления H , м. от объема подачи Q , $м^3 / ч$:

$$H = \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 - CQ^2, \quad (2.29)$$

где H - давление, создаваемое повысительным насосом;

ω - электрическая скорость вращения вала, об/мин;

ω_n - номинальная механическая скорость вращения вала ω , об/мин;

C - конструктивный коэффициент, принимаем $C=1$.

Магистраль, на которую работает насос, описывается, как зависимость между объемом подачи при работе насоса Q и давления H , необходимым для оптимальной работы системы теплоснабжения:

$$H = H_c + \frac{Q^2}{R},$$

(2.30)

где H_c – давление, обусловленное разностью высот теплопункта и потребителя;

R – коэффициент, описывающий изменение сопротивления системы

Q – объем воды, требующих для подачи потребителю $\text{м}^3/\text{ч}$.

Для реализации модели магистрали, преобразуем характеристику магистрали так, чтобы выходным параметром являлась величина объема обработки:

$$Q = \sqrt{(H - H_c) \cdot R},$$

(2.31)

Опираясь на формулы 2.29 и 2.31 с помощью Simulink построим модель системы насос - магистраль (см. рисунок 10 и приложение В).

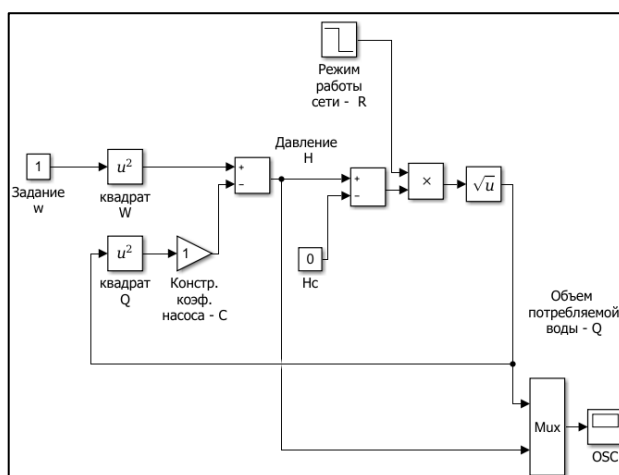


Рисунок 10 - Модель системы насос-магистраль

Значение коэффициента $R=1$ эквивалентно работе системы в номинальном (максимально возможном) режиме, при максимальном напоре; при минимальной производительности значение R близко к нулю, но значение 0 не допустимо при работе системы отопления.

Созданная модель отражает реальный объект, поддающийся регулировке и управлению. Путем изменения величин H_c , R , C , модель позволяет проанализировать любые процессы, происходящие в данной

системе. Дополнив модель САУ (системой автоматического управления) электропривода, моделируем действующую модель насоса.

Наша цель найти способ автоматического поддержания давления, т.е. необходимо создать замкнутую систему подчиненного регулирования по отклонению, элементами которой являются регулятор, фильтр и звено объекта, с передаточными функциями соответственно W_p , W_ϕ , W_o .

Инерционность звена объекта создают электропривод асинхронного двигателя, частотного преобразователя, и датчики регулируемых величин. Инерционность датчиков много меньше инерционности привода, поэтому при построении регулятора её можно не учитывать, а систему рассматривать как с безынерционной единичной обратной связью.

Частотный преобразователь имеет два внутренних контура – контур тока и контур скорости, контур регулирования давления – технологический контур будет по счету третьим.

Таким образом, передаточные функции звена частотного преобразователя, объекта и фильтра представим в виде апериодического звена второго порядка, стандартная передаточная функция второй замкнутой системы имеет вид:

$$\Phi_2(p) = \frac{1}{8T_\mu^3 p^3 + 8T_\mu^2 p^2 + 4T_\mu p + 1}.$$

2.8.2 Синтез регулятора третьего контура и его свойства

На входе САУ имеется сумматор, на котором выделяется ошибка между заданной величиной и сигналом обратной связи (регулировка коэффициента обратной связи доступна пользователю). Таким образом, получаем математическую модель САУ электропривода насоса (рисунок 11), САУ включает математическую модель системы вентилятор – двигатель и «ПИ» (пропорционально-интегральный) регулятор системы управления давлением.

Согласно стандартной методике, передаточная функция регулятора давления имеет вид:

$$R_3(p) = [W_3(p)]^{-1} * \frac{1}{T_3 p} .$$

На практике для приводов умеренного быстродействия величину базовой (некомпенсированной) постоянной времени обычно принимают в пределах от 0,004 до 0,01 с. Принимаем постоянную времени равную 0,01 с.

Условия оптимальной настройки регулятора следующие:

$$T_3 = 2 * T_2 = 4 * T_1 = 8 * T_{\mu} ,$$

$$T_3 = 2^3 * 0,01 = 0,08 \text{ с.}$$

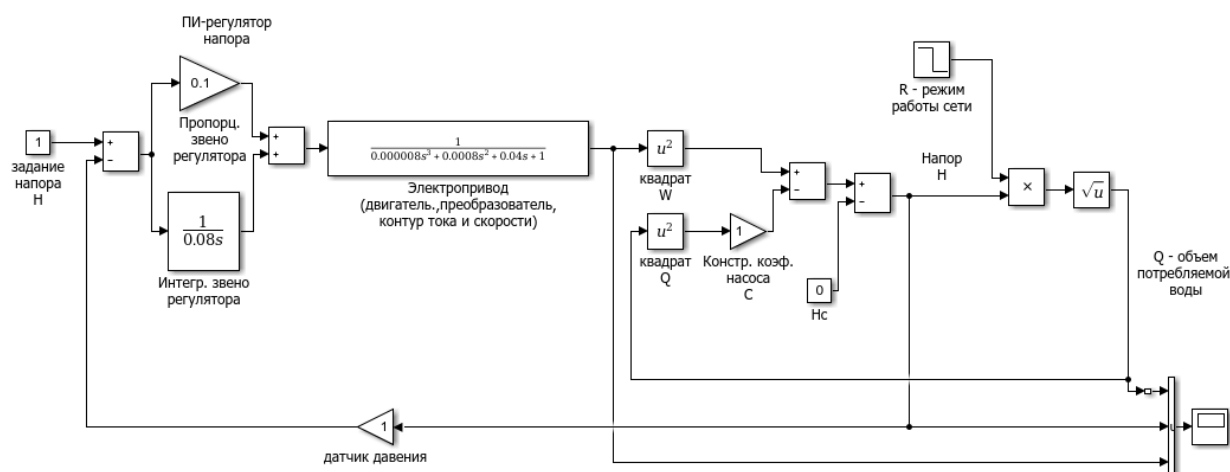


Рисунок 11 - Математическая модель системы автоматического управления электропривода насоса

2.8.3 Анализ математической модели системы автоматического управления

Вспользуемся моделью системы автоматического регулирования насоса. Запустим модель установки. На первой секунде осциллограммы виден переходный процесс запуска двигателя. Немного большее перерегулирование, чем при реакции системы, настроенной на модульный оптимум, на единичное воздействие, вызвано возрастающим действием сопротивления магистрали. Далее хорошо видна работа системы по

поддержанию постоянной величины давления – график показан на рисунке 12.

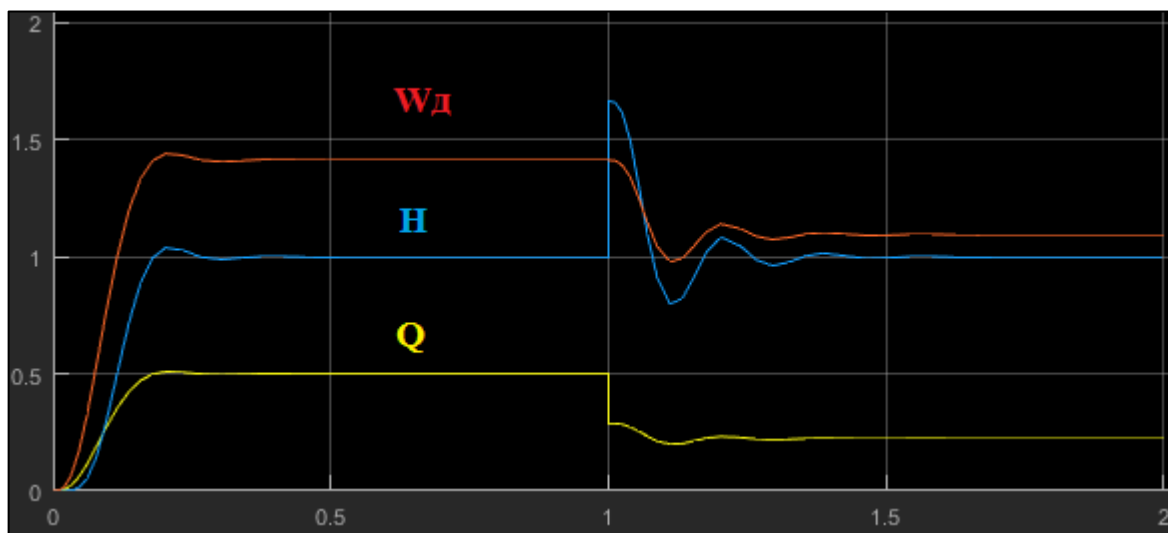


Рисунок 12 - Осциллограмма работы системы автоматического управления по поддержанию давления

При уменьшении потребления происходят следующие процессы: в момент уменьшения подачи, величина давления резко изменяется (так как насос работает с той же частотой вращения), для поддержания давления система управления замедляет (уменьшает) частоту вращения насоса тем самым, уменьшая его производительность, что в конечном итоге приводит к тому, что давление восстанавливается.

При настройке систем подчиненного регулирования, в общем, принимаются следующие обобщения:

- каждый последующий контур системы подчиненного регулирования обладает быстродействием, примерно вдвое меньшим в сравнении с предыдущим;
- все контуры обеспечивают переходные процессы со сравнительно малым перерегулированием;

- динамические свойства многоконтурной системы и прежде всего ее быстродействие полностью определяются количеством контуров и величиной некомпенсируемой постоянной времени T_{μ} ;

- для любого из контуров регулятор конструируется по одной и той же стандартной схеме. В общем случае для контура с номером i передаточная функция определяется формулой и имеет вид:

$$R_i(p) = K_{ri} + \frac{1}{T_{ri}p},$$

где K_i - коэффициент усиления регулятора;

T_i - постоянная времени регулятора.

Конкретный тип регулятора определяется структурой компенсируемого звена объекта.

Основные показатели процесса регулирования третьего контура:

- время первого согласования $14,5T_{\mu}$;
- время достижения максимума $18T_{\mu}$;
- время достижения зоны 5% отклонения $13,6T_{\mu}$;
- перерегулирование 6,2%.

Итак, в сравнении с показателями САУ меньшего порядка, в нашем случае время переходного процесса существенно возрастает, а перерегулирование несколько снижается.

3. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Обоснование выбранной темы

В дипломной работе был проект электропривода насосной установки, выполненный по системе «ПЧ – АД» на базе преобразователя частоты Vacon 100 industrial.

В современных условиях нужна новая организация системы управления, так как к электроприводу повышаются требования, а центрального теплового пункта, где расположены насосные установки, отказываются от постоянного контроля оператора. Для этого используются современные решение, а именно использование цифровой системы управления.

Главная цель профессионального образования – подготовка квалифицированного специалиста соответствующего уровня и профиля, ответственного, компетентного, а также конкурентоспособного на рынке труда, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, социальной и профессиональной мобильности.

Проведение текущего контроля в форме дидактического теста обусловлено необходимостью более полного усвоения предмета «Электропривод».

3.2 Разработка тестовых заданий

Тест - методика измерения уровня знаний и оценкой результатов, такое как испытание обучаемого для выявления уровня сформированной знаний и умений.

Педагогический тест, является тестом достижения, выявляющим уровень усвоения знаний.

Инструменты оценивания, такие как контрольные работы и тесты достижения имеют значительные различия. В отличие от контрольной работы, ориентированной на выявление констатированных и определенных совокупностей формально усвоенных знаний, тест имея стандартизированную форму оценки с помощью коэффициента усвоения, позволяет более качественно и объективно оценивать знания обучающегося, выявляя уровень форсированности знаний и умений обучающегося.

К каждому тестовому заданию разрабатывается эталон, то есть, правильный и полный ответ, метод выполнения заданной деятельности. Запись, наглядно демонстрирующая выше сказанное: $T=Z+\Theta$, где T-тест, Z-задание, Θ -эталон.

Заключение о качестве выполнения тестового задания, является пооперационная сверка ответов учащегося с эталоном. Тестовое задание, лишенное эталона, превращается в обычное задание, решение, о качестве которого принимается на основе субъективной оценки преподавателя. Имея данные о количестве существующих операций в наборе тестовых заданий проверяемого уровня и проверив ответы учащегося, можно определить по эталону количество правильно выполненных учащимся операций и вычислить коэффициент усвоения знаний обучаемого.

Целью входного контроля является оценивание исходной подготовленности обучаемого по предмету, то есть степени владения им знаний, требуемых для успешного усвоения курса.

Промежуточный контроль представляет собой тест, состоящий из 5-10 компактных заданий, реализуемых непосредственно после изучаемого материала и предназначенный для оперативного оценивания его усвоения.

Итоговый контроль предусматривается в конце изучения курса и покрывает его содержание в целом. Его результаты служат основной для аттестации обучаемого.

Опираясь на классическую теорию тестирования можно выделить следующие этапы при разработке тестов:

1. Определение целей тестирования.

Цели ставят диагностично, так, чтобы с помощью определенных критериев можно было проверить достигнуты они или нет.

Целями тестирования по предмету могут быть следующие:

- проверка знаний основных факторов, понятий по определенной теме, а также по разделу или по всей учебной дисциплине;
- диагностика базовых знаний и умений учащихся перед началом изучения курса;
- диагностика меж предметных связей необходимых для изучения данного курса.

В зависимости от целей тестирования могут быть различные виды тестов для определения уровня знаний в начале обучения – это установочные тесты; для определения трудностей в освоении учебного материала и их причин – диагностические тесты; для проверки степени усвоения знаний в течении обучения - учебные тесты; для определения знаний и умений в конце обучения – итоговые тесты.

2. Отбор содержания учебного материала.

Проверяемые знания – это та часть содержания учебного материала, которая подлежит обязательному контролю. При отборе содержания для разработки тестов, необходимо выделить основные понятия, законы, формулы, наиболее значимые явления и способы обработки материала.

В этом случае удобнее оставить спецификацию учебных элементов, в которой отражаются все понятия, подлежащие усвоению.

3. Составление тестовых заданий.

При разработке теста составлена инструкция по выполнению заданий, текст задания и эталон ответа. Инструкция содержит указания, что обучаемый должен сделать и каким образом. Тест задания представляет собой содержательное наполнение задания или вопроса.

Содержание задания должно отвечать программным требованиям и проверять один учебный элемент. Предлагаемые в тесте варианты ответов

должны быть однозначны по содержанию, структуре и общему количеству слов.

Отражение уровней усвоения понятий определяет методику работы на этапе применения умений и знаний. Для этого необходимо сконструировать тесты соответствующего уровня и провести подбор соответствующих заданий. В данном разделе, приведен фрагмент дидактического теста по дисциплине “Электропривод”.

Спецификация учебных элементов показана в таблице 5

Таблица 5 - Спецификация учебных элементов

Опорные понятия	Новые понятия	№ п/п	Название учебных элементов (понятий)	Условные обозначения	Уровень усвоения
+		1	Мощность	P	I
	+	2	Сопротивление	R	I
+		3	Источник тока	~	I
+		4	Первичная обмотка	W1	I
+		5	Вторичная обмотка	W2	I
+		6	Напряжение	U	II
	+	7	Транзистор	T	II
+		8	Коэффициент мощности	k	III
+		9	Переменный ток	I	I
	+	10	Асинхронный двигатель	M	III
	+	11	Преобразователь частоты Vacon 100 industrial	ПЧ	III
	+	12	Микропроцессорный контроллер	МК	III
	+	13	Датчик тока	ДТ	II
	+	14	Датчик напряжения	ДН	II
	+	15	Датчик давления	P	I

ИНСТРУКЦИЯ
по выполнению дидактического теста
для проведения контрольного опроса студентов
по дисциплине «Электрический привод»
направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
профиля «Электрооборудование и электрохозяйство
предприятий, организаций и учреждений»

Уважаемые студенты!

Цель тестирования: выявить уровень усвоения знаний по предмету «Электрический привод».

После изучения дисциплины студенты должны знать: современные системы управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором; принципами их построения, основными характеристиками и типовыми функциями.

Тест состоит из 25 тестовых заданий. В тесте использованы тестовые задания различной формы, однотипные задания сгруппированы в блоки.

В начале каждого блока заданий имеется инструкция, указывающая на действия, которые должны выполнить испытуемые для успешного решения тестовых заданий.

При выполнении заданий с формулировкой «**Выберите правильный вариант ответа**» необходимо выбрать один правильный ответ из предложенных.

При выполнении заданий с формулировкой «**Выберите правильные варианты ответов**». Необходимо указать несколько правильных ответов из предложенных.

При выполнении заданий с формулировкой «**Установите соответствие**» найти такие однозначные связи между позициями первого и второго столбиков, чтобы одной позиции первого столбика соответствовала только одна позиция второго, повтор используемых позиций не допускается.

При выполнении заданий с формулировкой «**Дополните**» необходимо вставить недостающее предложение. Слово или часть предложения.

Вид тестирования – бланковое, с использованием отдельных бланков для ответов. В бланк вносят ФИО, № группы, вариант, номер заданий и соответствующие им буквенные обозначения правильного ответа.

Время выполнения теста – 60 минут.

ДИДАКТИЧЕСКИЙ ТЕСТ
по дисциплине «Электрический привод»
направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
профиля «Электрооборудование и электрохозяйство
предприятий, организаций и учреждений»

Блок I. В заданиях с 1-го по 15-е выберите правильный вариант ответа

1. СОГЛАСНО ЭМПИРИЧЕСКОМУ ВЫРАЖЕНИЮ

$$M_c = M_o + (M_{c.n} - M_o) \left(\frac{W}{W_n} \right)^x$$

КОЭФФИЦИЕНТ $x > -1$ ХАРАКТЕРИЗУЕТ

СЛЕДУЮЩУЮ ГРУППУ РАБОЧИХ АСИНХРОННЫХ МАШИН И
МЕХАНИЗМОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

- 1) Механизмы с моментом сопротивления, не зависящим от скорости
- 2) Механизмы с линейно-возрастающей механической характеристикой
- 3) Механизмы с нелинейно-возрастающей механической характеристикой
- 4) Механизмы с нелинейно-спадающей механической характеристикой
- 5) Все перечисленные виды механизмов

Эталон: 4.

2. ЦЕЛЬЮ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ, СЛЕДЯЩЕЙ АСР ЯВЛЯЕТСЯ

- 1) изменение регулируемой величины в соответствии с заранее заданной функцией
- 2) поддержание регулируемого параметра на заданном постоянном значении с помощью управляющих воздействий на объект

- 3) изменение регулируемой величины в соответствии с заранее неизвестной величиной на входе АСР
- 4) выработка управляющих воздействий
- 5) определение ошибки регулирования

Эталон: 2.

3. КАКИЕ ИЗ НИЖЕ ПРЕЧИСЛЕННЫХ ФОРМУЛ СООТВЕТСТВУЮТ ДЛЯ РАСЧЕТА МОЩНОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

- 1) $P_{\text{рас}} = p q Q_n H_n / 1000 \eta_n$
- 2) $P_{\text{рас}} = p q Q_n H_n / 100 \eta_n$
- 3) $P_{\text{рас}} = p q Q_n H_n / 10 \eta_n$

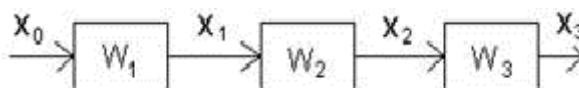
Эталон: 1.

4. АВТОМАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ НАЗЫВАЕТСЯ

- a) формирование управляющих воздействий, обеспечивающих требуемый режим работы ОУ
- b) частный вид управления, когда задачей является обеспечение постоянства какой-либо выходной величины ОУ
- c) управление, осуществляемое без непосредственного участия человека
- d) воздействие, подаваемое на вход системы или устройства
- e) воздействие, выдаваемое на выходе системы или устройства

Эталон: С.

5. ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ ДЛЯ ДАННОГО СОЕДИНЕНИЯ



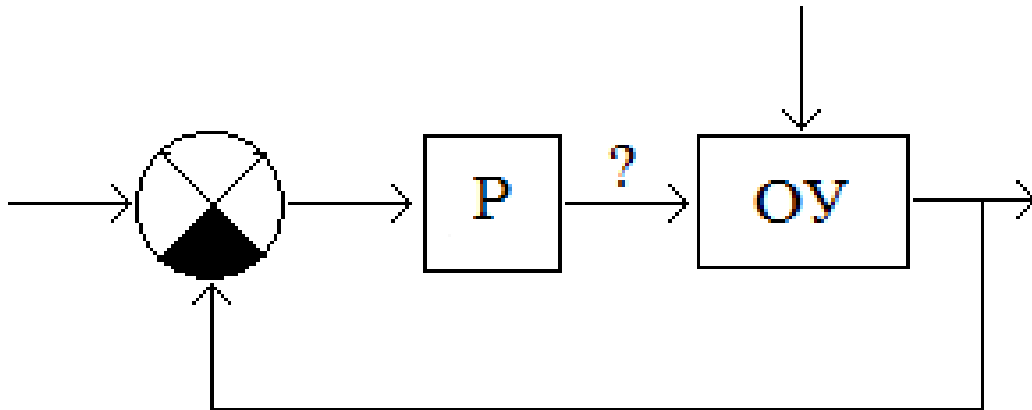
ЗВЕНЬЕВ РАВНА

- a) $W_1 + W_2 + W_3$
- b) $W_1 - W_2 - W_3$
- c) $W_1 * W_2 * W_3$

d) $W_1+W_2*W_3$

Эталон: А.

6. НА СХЕМЕ ОБОЗНАЧЕНЫ: Р – РЕГУЛЯТОР, ОУ – ОБЪЕКТ



УПРАВЛЕНИЯ, УКАЗАННЫЙ СИГНАЛ НАЗЫВАЕТСЯ

- a) Задание
- b) Регулирующее воздействие
- c) Управляющее воздействие
- d) Ошибка регулирования
- e) Случайный сигнал
- f) Регулируемый параметр

Эталон: В.

7. ПРИ КАКОЙ НАГРУЗКЕ ЭЛЕКТРОПРИВОД ОБЕСПЕЧИТ РЕЖИМ РАБОТЫ ПО НАГРЕВУ И ПЕРЕГРУЗКИ

- 1) $M_n \geq M_c$
- 2) $M_n \leq M_c$

Эталон: 1

8. СКОЛЬКО РАБОЧИХ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕ

- a) Пять
- b) Шесть
- c) Семь
- d) Восемь
- e) Девять

Эталон: d.

9.В КАКОМ РЕЖИМЕ РАБОТАЮТ МЕХАНИЗМЫ
ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

- a) В кратковременном режиме
- b) В номинальном продолжительном режиме
- c) В повторно-кратковременном режиме
- d) В перемежающем режиме
- e) Пункты (А) и (В)

Эталон с.

10. ПРИМЕНЕНИЕ В УСИЛИТЕЛЕ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ
СВЯЗИ

- a) Увеличит коэффициент усиления
- b) Вызовет генерацию колебаний
- c) Сократит полосу частот
- d) Ни к чему не приведет

Эталон: b.

11. ЧТО ЯВЛЯЕТСЯ ОСНОВНЫМ ПАРАМЕТРОМ МАГНИТНОГО
УСИЛИТЕЛЯ

- a) Ток обмотки управления
- b) Номинальный ток в рабочей цепи усиления
- c) Номинальная мощность в рабочей цепи усиления
- d) Коэффициент усиления
- e) Коэффициент равновесия

Эталон: d

12. КАКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ИМЕЕТ ПРИВОД ПО СИСТЕМЕ Г-Д
ПЕРЕД АСИНХРОННЫМ ПРИВОДОМ

- a) Отсутствие мощной переключаемой аппаратуры
- b) Простота устройства
- c) Широкий диапазон регулирования скорости

- d) Пункты (a) и (c)
- e) Все перечисленные

Эталон: d.

13. ПРОВЕРКА ДВИГАТЕЛЯ ПРИВОДА МЕХАНИЗМОВ ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ПО ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ПРОИЗВОДИТСЯ ИЗ УСЛОВИЯ (ГДЕ $M_{\text{доп}}$ – ДОПУСТИМЫЙ МОМЕНТ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ПЕРЕГРУЗКЕ)

- 1) $M_{\text{мах}} \leq M_{\text{доп}}$;
- 2) $M_{\text{мах}} \geq M_{\text{доп}}$;
- 3) $M_{\text{дин}} \leq M_{\text{доп}}$;
- 4) $M_{\text{стат}} \leq M_{\text{доп}}$;
- 5) $(M_{\text{стат}} - M_{\text{дин}}) \leq M_{\text{доп}}$;

Эталон: 1.

14. КАКАЯ ИЗ ФОРМУЛ СООТВЕТСТВУЕТ ДЛЯ РАСЧЕТА МОМЕНТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

- 1) $M_{\text{нлрас}} = Pd / \omega_n$;
- 2) $M_{\text{нлрас}} = Pd * \omega_n$;
- 3) $M_{\text{нлрас}} = P * \omega_n / d$

Эталон: 1.

15. КАКАЯ РАБОЧАЯ ТЕМПЕРАТУРА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ VACON 100 INDUSTRIAL ЯВЛЯЕТСЯ ТЕХНИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРОМ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

- 1) -10.С...+50.С
- 2) -5.С...+45.С
- 3) -15.С...+60.С
- 4) 0.С...+50.С
- 5) 0.С...+1.С

Эталон: 1.

Блок II. В заданиях с 16-го по 18-е выберите правильные варианты ответов.

16. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

- | | |
|----------------------|--------------------|
| 1) Не линейные | 5) Регулируемые |
| 2) Не вращательные | 6) Не регулируемые |
| 3) Не автоматические | 7) Автоматические |
| 4) Вращательные | 8) Линейные |

Эталон: 1;2;3;5;7;8.

17. ДВА ОСНОВНЫХ ПРОГРАММИРУЕМЫХ АНАЛОГОВЫХ ВХОДА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

- | | |
|------------|------------|
| 1) 0-10 В | 4) 3-20 мА |
| 2) 1-5 мА | 5) 4-55 мА |
| 3) 4-20 мА | 6) 3-50 мА |

Эталон: 1;3.

18. КАКИЕ ПЕРЕГРУЗОЧНЫЕ СПОСОБНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ VACON 100 INDUSTRIAL ЯВЛЯЮТСЯ ЗАЩИТНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.

- | | |
|---|--|
| 1) 50% в течение 2 сек. каждые 5 мин. | 4) 50% в течение 60 сек. каждые 5 мин. |
| 2) 100% в течение 60 сек. каждые 5 мин. | 5) 75% в течение 60 сек. каждые 5 мин. |
| 3) 75% в течение 3 сек. каждые 5 мин. | 6) 100% в течение 3 сек. каждые 5 мин. |

Эталон 4;6.

Блок III. В заданиях с 19-го по 24-е дополнить.

19. ЧТО ОСУЩЕСТВЛЯЕТ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ КОНТРОЛЛЕР?

Эталон: формирование режимов работы электропривода с заданными параметрами с помощью сигнала управления.

20. _____ ЭТО
СОВОКУПНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН, АППАРАТОВ И СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ.

Эталон: электропривод.

21. ЧАСТОТНО – РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПРИВОД НАСОСА Wilo inline
ЯВЛЯЕТСЯ _____

Эталон: универсальный, автоматического управления частотой вращения и моментом производственных машин, имеет развитый внешний интерфейс, что позволяет адаптировать их к системам автоматике.

22. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ VACON 100 INDUSTRIAL
ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОЖЕТ ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ ДЛЯ

Эталон: решения многочисленных задач с большим диапазоном регулирования.

23. ТРАНЗИСТОР IGBT ЭТО _____

Эталон: силовой электронный прибор, предназначенный, в основном, для управления электрическими приводами, могут работать на частотах 75кГц. При рабочем напряжении 1200В и токе 78А.

Блок IV. В заданиях с 24-го по 25-е установить соответствие.

24. ПАРАМЕТРЫ ДВИГАТЕЛЯ

АИС200LA2	ВЕЛИЧИНА
1) Номинальная мощность	а) 2900
2) Напряжение	б) 30

- | | |
|----------------------------------|---------|
| 3) КПД | c) 55 |
| 4) Коэффициент мощности | d) 92 |
| 5) Ток Номинальный – $I_{ном}$. | e) 0,92 |
| 6) Частота вращения | f) 380 |
| | g) 220 |

Эталон: 1) b; 2) e; 3) d; 4) e; 5) c; 6) a

25. УСТАНОВИТЬ СООТВЕТСТВИЕ ПАРАМЕТРОВ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ Vacon 100 industrial

- | | |
|-------------------------|------------|
| 1) Входная частота | a) 0.8 |
| 2) Коэффициент мощности | b) 47-63Гц |
| 3) Пусковой ток | c) 0.95 |
| 4) КПД | d) 70А |
| | e) 0.85 |

Эталон: 1) b; 2) a; 3) d; 4) c

В приложениях Г, Д, Е находятся аннотация, бланк ответа, а также ключ ответов дидактического теста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проектирования автоматизированного электропривода насосной установки, снизилось потребление электроэнергии, а также используются максимальные технические характеристики насоса. Введя регулируемый электропривод, появилась возможность увеличить срок службы насосного оборудования, а также сопутствующей аппаратуры, увеличить межремонтный интервал электрооборудования, а также снизить затраты на обслуживание водопроводной сети, уменьшить потери воды.

Для этого были решены следующие задачи:

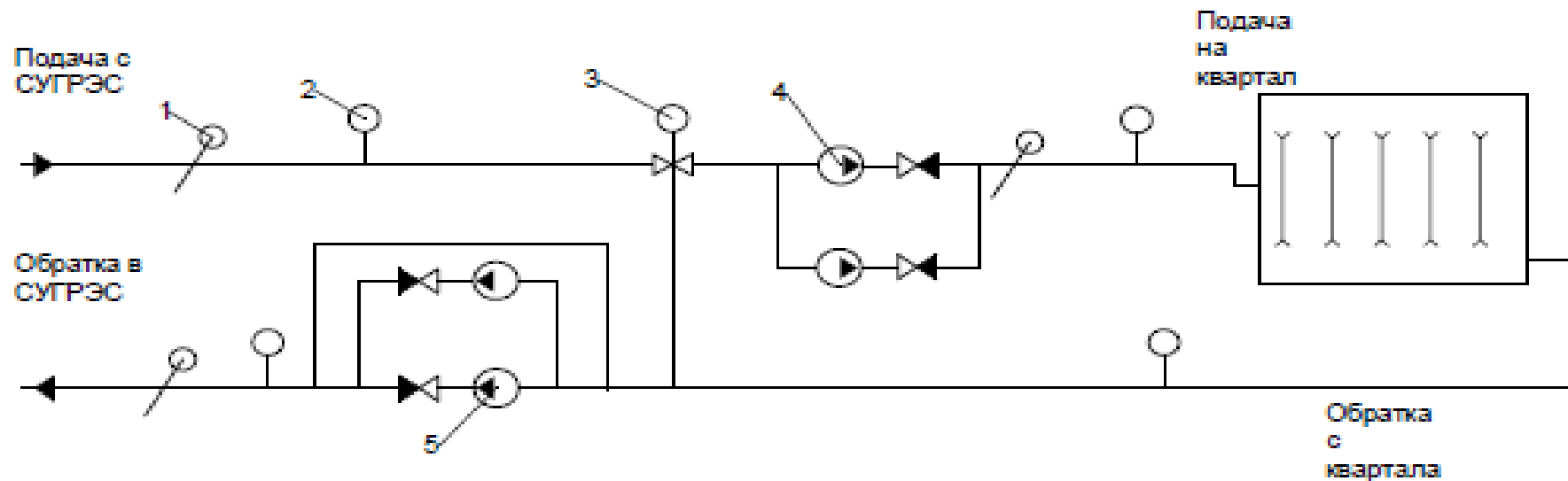
1. Произведен анализ технологического процесса.
2. Произведен расчет параметров установки.
3. В выпускной квалификационной работе выбрана система базовой автоматизации, в которую входит частотный преобразователь Vacon 100 industrial и насос Wilo inline для ЦТП с открытой системой водоснабжения.
4. Произведены исследования работы насосного агрегата при регулировании изменением частоты вращения двигателя.
5. Разработана математическая модель управления асинхронным двигателем насоса.
6. Разработано методическое обеспечение. Разработан дидактический тест для студенческих групп.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аванесов В.С. Композиция тестовых заданий. Учебная книга для преподавателей вузов, учителей школ, аспирантов и студентов педвузов. – Москва: Адепт, 1998 – 152 с.
2. Анхимюк В.Л., Опейко О.Ф., Михеев Н.Н. Теория автоматического управления. Минск: Дизайн ПРО, 2000 – 351 с.
3. Бошарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г.; Управление электроприводами. Учебное пособие для вузов. - Ленинград.: Энергоиздат, 1982–392 с.
4. Быстрицкий Г.Ф. / Общая энергетика. Учебник. - Москва: Кнорус. 2016 – 243 с.
5. Быстрицкий Г.Ф. Энергосиловое оборудование промышленных предприятий. Москва: ИЦ "Академия", 2003 – 304 с.
6. Гинзбург Я. Н., Лезнов Б. С., Чебанов В. Б. Внедрение автоматизированных систем регулируемого электропривода в насосные установки / Автоматизация и управление системами водоснабжения и водоотведения: Тр. ВНИИ ВОДГЕО. – Москва, 1986 – 361 с.
7. ГОСТ 22247-96 Насосы центробежные консольные для воды. Основные параметры и размеры. Требования безопасности. Методы контроля.
8. Давыдова О.В. Создание измерителей для оценки компетенций обучающихся. // Вестник университета, 2012, №12.
9. Дастин Э. Внедрение, управление и автоматизация / Э. Дастин, Д. Рэшка, Д. Пол; Пер. с англ. М. Павлов. – Москва: Лори, 2013 – 567 с.
10. Ермоленко А.Д. Автоматизация процессов: Учебное пособие / А.Д. Ермоленко, О.Н. Кашин, Н.В. Лисицын; Под общ. ред. В.Г. Харазов. – Санкт-Петербург: Профессия, 2012 – 304 с.

11. Иванов А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебное пособие / А.А. Иванов. – Москва: Форум, 2012 – 224 с.
12. Кацман М.М. Справочник по электрическим машинам. – Москва: Академия, 2011 – 480 с.
13. Колясникова Л. В. Диагностическое обеспечение образовательного процесса : учеб. пособие для вузов [Гриф УМО] / Л. В. Колясникова ; Рос. гос. проф.-пед. ун-т, Акад. проф. образования, Урал. отд-ние Рос. акад. образования. — Екатеринбург : Издательство РГППУ, 2003 – 151 с.
14. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. – Москва: Интернет Инжиниринг. 2014 – 627 с.
15. Кузнецов Ю.В., Федорова С.В. Энергосберегающие технологии и мероприятия в системах энергоснабжения. Учебное пособие. Екатеринбург: УРО РАН, 2008 – 356 с.
16. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс. – Санкт-Петербург: Издательская группа ИРМ, 2005 – 512 с.
17. Онищенко Г.Б. Электрический привод. Учебник для вузов. – Москва: РАСХН, 2012 – 320 с.
18. Осин И.Л., Шакарян Ю.Г. Электрические машины. Учеб. пособие для вузов /Под ред. И. П. Копылова. – Москва: Высш. Шк., 2011 – 304 с.
19. Переверзев В.Ю. Критериально-ориентированное педагогическое тестирование. Учебное пособие. – Москва: Логос, 2003 – 120 с.
20. Свечарник Д.В. Линейный электропривод. – Москва: Энергия, 2010 – 152 с.
21. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Технология энергосбережения: Учебник. – Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006 – 352с.
22. СНиП 3.05.06-85 Электротехнические устройства (Приказ Минстроя России от 16 декабря 2016 г. № 955/пр).
23. СП 124.13330.2012 Тепловые сети.
24. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий.

25. СП 41-101-95 Проектирование тепловых пунктов.
26. СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование.
27. СП 77.13330.2016 Системы автоматизации
28. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т.
Т.1. Электроснабжение/Под общ. ред. А.А.Федорова. – Москва: Энергоатомиздат, 2012 – 568 с.
29. Чельшкова М.Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов: учеб. пособие. – Москва: Логос, 2002 – 432 с.
30. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию
Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2009 – 136 с.
31. Эрганова Н.Е. Методика профессионального обучения: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н.Е. Эрганова. – 2-е изд., стер. – Москва: Издательский центр «Академия», 2008 – 160с.

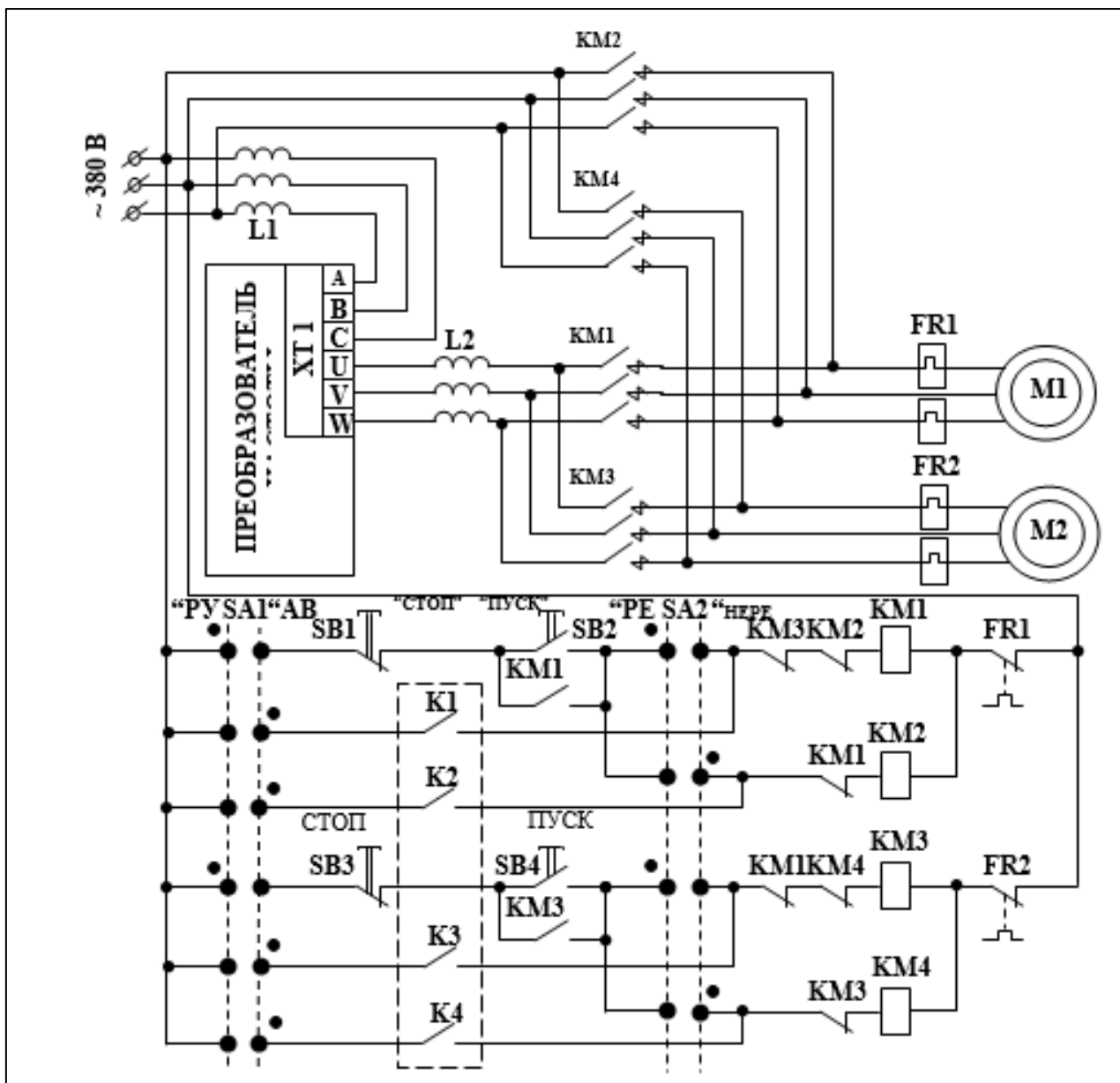


ПРИЛОЖЕНИЕ А

Упрощенная схема теплового пункта

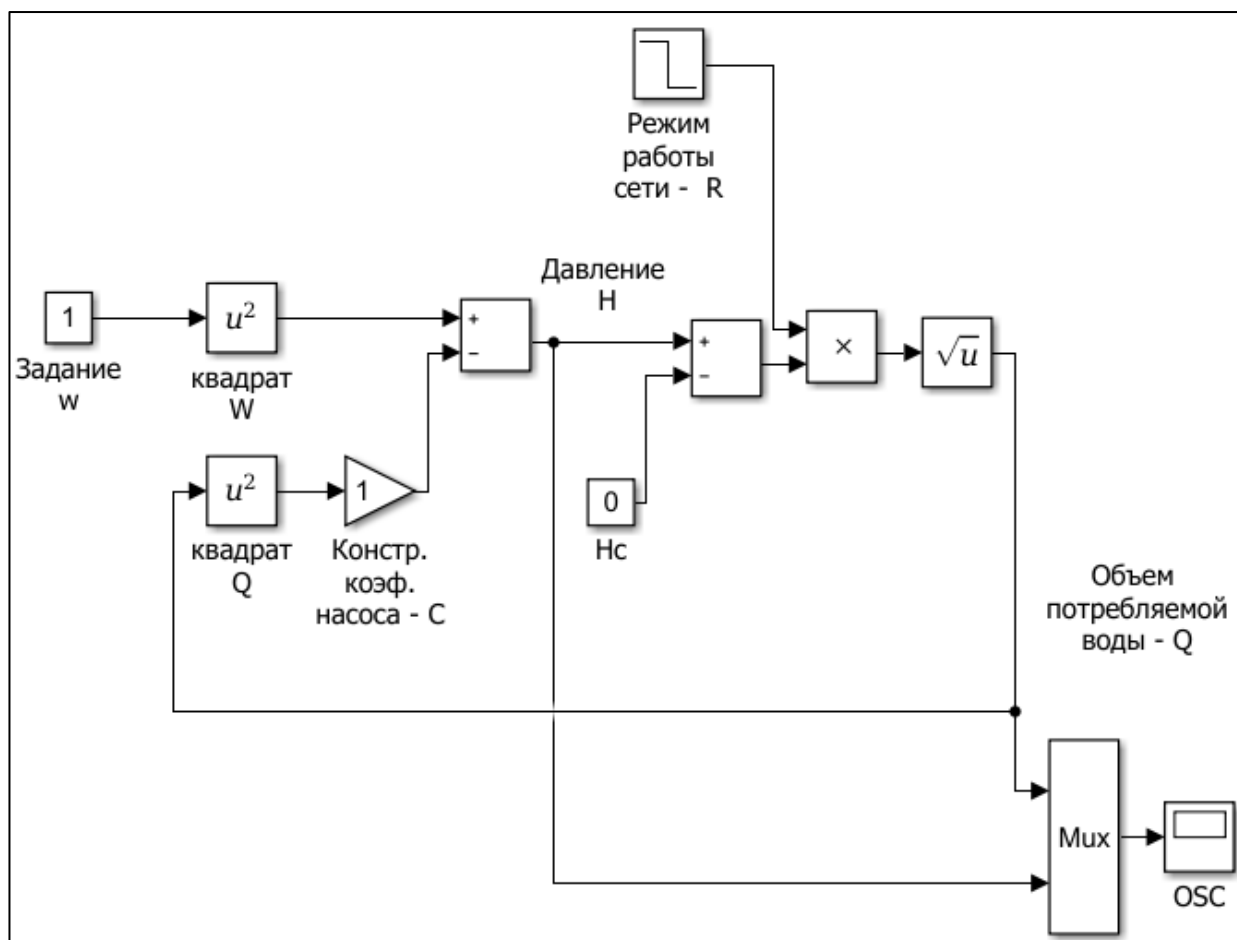
1-датчик температуры; 2-манометр; 3-3ех ходовой автоматизированный кран; 4-Насос поддача; 5-Насос обратка

ПРИЛОЖЕНИЕ Б



Упрощенная схема силовых цепей

ПРИЛОЖЕНИЕ В



Модель системы насос-магистраль

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

АННОТАЦИЯ

дидактического теста
для проведения контрольного опроса студентов
по дисциплине «электрический привод»
направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
профиля «Электрооборудование и электрохозяйство
предприятий, организаций и учреждений»
Дидактический тест содержит 26 тестовых заданий.
Время, отводимое для выполнения теста, – 60 минут.

Проверка тестового задания осуществляется с помощью утверждённого ключа.

Оценка тестовых заданий производится в соответствии с утверждёнными критериями:

№	Процент правильных ответов	Оценка по общепринятой шкале
1	90-100%	отлично
2	60-89%	хорошо
3	30-59%	удовлетворительно
4	0-29%	неудовлетворительно

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Бланк ответа
дидактического теста
для проведения контрольного опроса студентов
по дисциплине «электрический привод»
направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
профиля «Электрооборудование и электрохозяйство
предприятий, организаций и учреждений»

ФИО студента _____

Группа _____

Дата _____

Ответы:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____
8. _____
9. _____
10. _____
11. _____
12. _____
13. _____
14. _____
15. _____
16. _____
17. _____
18. _____
19. _____
20. _____
21. _____
22. _____
23. _____
24. 1.____ 2.____ 3.____ 4.____ 5.____ 6.____
25. 1.____ 2.____ 3.____ 4.____

Подпись студента _____

Оценка _____

Проверил _____

(должность)

(подпись)

(ФИО)

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Ключ ответов
дидактического теста
для проведения контрольного опроса студентов
по дисциплине «электрический привод»
направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
профиля «Электрооборудование и электрохозяйство
предприятий, организаций и учреждений»

- | | |
|-----|---|
| 1. | 4 |
| 2. | 2 |
| 3. | 1 |
| 4. | с |
| 5. | а |
| 6. | б |
| 7. | 1 |
| 8. | д |
| 9. | с |
| 10. | б |
| 11. | д |
| 12. | д |
| 13. | 1 |
| 14. | 1 |
| 15. | 1 |
| 16. | 1;2;3;5;7;8 |
| 17. | 1;3 |
| 18. | 4;6 |
| 19. | формирование режимов работы электропривода с заданными параметрами с помощью сигнала управления |
| 20. | электропривод |
| 21. | универсальный, автоматического управления частотой вращения и моментом производственных машин, имеет развитый внешний интерфейс, что позволяет адаптировать их к системам автоматики. |
| 22. | решения многочисленных задач с большим диапазоном регулирования. |
| 23. | силовой электронный прибор, предназначенный, в основном, для управления электрическими приводами, могут работать на частотах 75кГц. При рабочем напряжении 1200В и токе 78А. |
| 24. | 1.-b_ 2.-e_ 3.-d_ 4.-e_ 5.-c_ 6.-a_____ |
| 25. | 1.-b 2.-a 3.-d 4.-c |