

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Политехнический институт  
Энергетический факультет  
Кафедра «Автоматизированный электропривод»  
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ**

**Заведующий кафедрой  
автоматизированного электропривода,  
д.т.н., профессор**  
\_\_\_\_\_ / М.А. Григорьев /  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Электропривод и автоматизация насосной станции

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
ПО ПРОГРАММЕ БАКАЛАВРИАТА  
«ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ»  
ЮУрГУ–13.03.02.2020.166 ВКР**

**Руководитель, должность**  
\_\_\_\_\_ / А.Е. Бычков /  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**Автор работы,  
бакалавр группы 05–166**  
\_\_\_\_\_ / А.Б. Гарипов /  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**Нормоконтролер, должность**  
\_\_\_\_\_ / Т.А. Функ /  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**Челябинск 2020**

## АННОТАЦИЯ

Гарипов А.Б. Электропривод и автоматизация насосной станции. – Челябинск: ЮУрГУ, Э; 2020, 56 с., 22 ил., 17 табл., библиографический список – 9 наим., 1 лист чертежей ф. А3

Рассматривается возможность применения частотно – регулируемого электропривода в водопроводных и канализационных насосных станциях в качестве ключевых объектов ресурсо- и энергосбережения. Частотно-регулируемый электропривод используется в системах автоматизированного управления (САУ) насосных установок, чтобы с его помощью привести в соответствие режим работы насосов с режимом работы обслуживаемой системы подачи жидкости, например, водопроводной или канализационной сети города или промышленного предприятия.

Основными задачами проектирования являются:

- закрепление знаний, полученных на лекциях, при выполнении лабораторных работ и др.;
- приобретение навыка креативного мышления и умения использовать аргументированные в технико - экономическом отношении решения инженерных задач;
- развитие профессиональных способностей, связанных с деятельностью будущего профессионала;
- приобщение студентов к самостоятельной работе со специальной и нормативной литературой;
- подготовка студентов к решению комплексных инженерных задач.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.166.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	9
2 РАЗРАБОТКА НАСОСНОГО АГРЕГАТА.....	19
2.1 Выбор насоса.....	19
2.2 Выбор электродвигателя.....	21
3. ВЫБОР СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.....	24
3.1 Выбор преобразователя частоты.....	24
3.2 Выбор сетевого дросселя.....	25
3.3 Выбор моторного дросселя.....	27
3.4 Выбор датчика давления жидкости.....	28
4 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	30
5 РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗАЦИИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ.....	35
5.1 Описание технологического процесса.....	35
5.2 Разработка списка сигналов систем автоматизации.....	37
5.3 Разработка алгоритма работы системы автоматизации.....	40
5.4 Разработка функциональной схемы автоматизации.....	42
5.5 Выбор элементной базы системы автоматизации.....	44
5.6 Разработка программного обеспечения.....	49
6 РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ.....	52
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	53
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	55

## 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.

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.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.166.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

Прогресс технологического оборудование 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 [5].

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.166.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

## 1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Насосные станции или установки представляют собой целые системы высокотехнологичного уровня, которые обеспечивают водой промышленные установки, пожарные машины, снабжают водой один дом или весь населенный пункт, а также удаляют сточные воды и направляют их в очистные сооружения. Насосные станции могут перекачивать чистую и грязную воду, различные гравийно – песчаные смеси, топливо и нефтяные продукты, кислоты и жидкости, насыщенные газом, а также воду и конденсат пара. Насосные станции необходимы при подаче воды из глубинных скважин либо каких-то других автономных источников. Их можно также применять для перекачивания воды из водопроводной сети с недостаточным напором и для заполнения накопительных емкостей прозапас, наглядным примером является классическая бытовая насосная станция, изображенная на рисунке 1.1. Система не нуждается в погружении и монтируется на поверхности, не требуя при этом какого-то специального контроля за безопасностью, так как все процессы, включая устранение гидроудара, выполняются или автоматически, или полуавтоматически.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.166.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		9



Рисунок 1.1 – Классическая бытовая насосная станция

Насосная станция, как устройство призванное в автоматическом режиме обеспечивать подачу воды с постоянным давлением, содержит смонтированные в единый агрегат: насос, гидроаккумулятор и элементы автоматического управления работы насоса. Сам насос качает воду, гидроаккумулятор оптимизирует работу насоса и поддерживает давление и запас воды. Автоматика насосной станции может работать как в релейном режиме работы, другими словами обеспечивает автоматическое выключение насоса при достижении требуемого уровня давления воды в водопроводе и автоматическое его включение при понижении давления ниже допустимого уровня. Кроме того, автоматика насосной станции может работать в непрерывном режиме, другими словами в режиме реального времени может поддерживать давление или расход жидкости на выходе. Различные модели автоматических насосных станций оборудуются различными элементами автоматики, призванными повысить безопасность и вариативность настроек работы насоса.

Насосные станции или установки подразделяются на водопроводные, канализационные, теплофикационные, нефтеперекачивающие и другие.

Водопроводные насосные станции (ВНС) подразделяют на станции I и II подъёма и повысительные. ВНС I подъёма забирает воду из источника водоснабжения и подаёт её на очистные сооружения. Далее обработанная вода самотёком попадает в резервуары чистой воды (РЧВ). ВНС II подъёма подаёт воду из РЧВ по водоводам, магистралям в распределительную сеть трубопроводов, откуда она поступает потребителю. Если развиваемое давление недостаточно для подъёма воды на требуемую высоту, сооружаются повысительные насосные станции (станции подкачки), которые осуществляют забор воды как через промежуточные резервуары, так и непосредственно из сети. В последнем случае станции работают по схеме «из трубы в трубу». Водопроводные насосные станции подразделяются также на ВНС технической и питьевой воды. Устройство этих ВНС одинаково, но режимы их работы отличаются друг от друга. Режим работы ВНС технической воды определяется производственным циклом предприятия, а ВНС питьевой воды - ритмом жизни населения.

Канализационные насосные станции (КНС) предназначены для перекачки сточных вод к месту очистки. Сточные воды из самотечной канализационной сети поступают в приемный резервуар КНС, откуда подаются насосами в напорные водоводы, а из них через камеры гашения попадают в самотёчные коллекторы. Из самотёчных коллекторов другие более крупные КНС опять подают стоки в напорные коллекторы более крупного сечения. Таким образом, через несколько ступеней перекачки стоки попадают на очистные сооружения (станции аэрации и т. п.). Для канализационных систем производятся специальные канализационные насосные станции, конструкция которых в целях улавливания твердых включений оснащается дополнительной емкостью. Для этой же цели не менее эффективно использование насоса с режущим механизмом.

Насосные станции, подающие глубинную воду, оснащены специальными инжекторами, соединенными со струйно-центробежным насосом.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.166.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		11

Станции с выносными эжекторами оборудованы теми же типами насосов, но именно то, что их эжектор не встроен, а опускается на дно, позволяет качать воду из скважин с пятидесятиметровой и более глубины. Основной же насосный агрегат при этом остается на поверхности. Такие станции весьма удобны, когда скважина значительно удалена от потребителя. Они имеют невысокий КПД и достаточно критичны в отношении сильно загрязненной различными взвесями воды.

Теплофикационные насосные станции предназначены для подачи горячей воды в системы отопления и горячего водоснабжения. Источниками горячей воды являются центральные котельные и теплоэлектроцентрали, на которых устанавливаются сетевые насосы, с их помощью вода пропускается через водонагреватели (бойлеры), где она нагревается паром, поступающим из теплофикационных отборов турбин, и далее через трубопроводную сеть к тепловым пунктам потребителей. Отдав своё тепло через теплообменные аппараты, охлаждённая вода по обратной линии возвращается на всасывающий коллектор сетевых насосов.

В состав насосной станции или насосной установки, как правило, входит насосный агрегат – это комплекс устройств, состоящий из соединенных между собой насоса или нескольких насосов, приводного двигателя и передачи, изображенный на рисунке 1.2.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.166.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						12
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

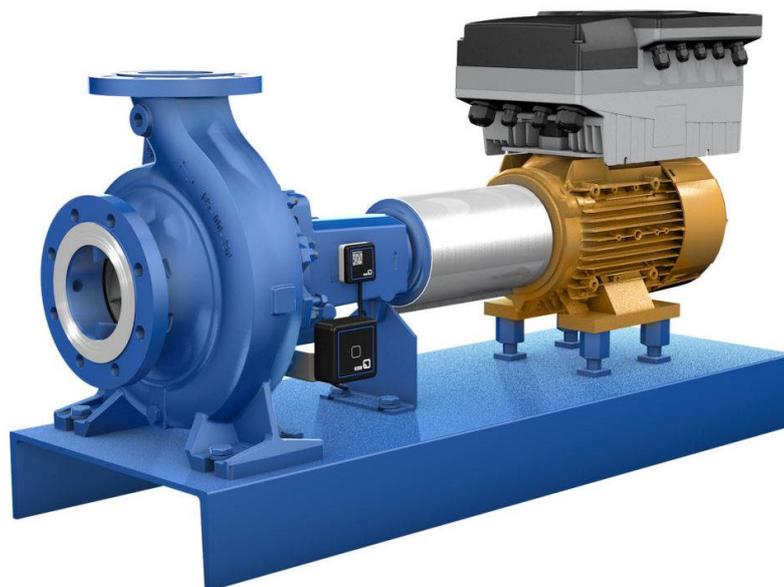


Рисунок 1.2 – Агрегат насосный

Насосные агрегаты, которые имеют небольшую мощность, выпускаются в виде моноблочной конструкции с корпусом, в котором некоторые узлы двигателя и насоса являются общими. В немоноблочной конструкции насос и двигатель соединены с помощью муфты (полужесткая, фрикционная) или через передачу с постоянным или регулируемым отношением скоростей вращения валов. Применяются ременные передачи с простыми или ступенчатыми шкивами, индукционные (электромагнитные) муфты скольжения и др. Насосный агрегат может быть стационарным, устанавливаемым на фундамент, в скважину или другие места, либо может быть передвижным, смонтированным на ходовой тележке или шасси. По типу двигателя различают:

- электронасосные агрегаты (приводящий двигатель – электродвигатель),
- турбонасосные агрегаты (приводящий двигатель – гидро/пневмо турбина),
- дизель-насосные агрегаты (приводящий двигатель – дизель),
- мотонасосные агрегаты (приводящий двигатель – карбюраторный двигатель).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.166.01ПЗ

Лист

13

Первые насосные агрегаты были описаны Цейзингом в 1613 году и имели привод от водяного колеса. На рубеже 17 и 18 века усилиями Т.Севери и Т.Ньюкомен появились принципиально новые агрегаты, которые использовали давление водяного пара и атмосферного воздуха. С начала 20 века широкое распространение получили электроприводные агрегаты.

Основным способом регулирования параметров насоса является электропривод, в частности, асинхронный двигатель переменного тока. Процесс регулирования параметров на выходе насоса осложняется несоответствием характеристик насосов и трубопроводов. Чтобы подать увеличенный расход воды по трубопроводу, напор на насосной станции надо увеличивать, а характеристики насосов таковы, что при увеличении подачи воды напор, развиваемый насосом, падает. В то же время при уменьшении подачи воды напор насоса следовало бы тоже уменьшить, а он увеличивается. Поэтому в периоды уменьшенного водопотребления системы водоснабжения работают с избыточным напором, который гасится в дросселирующих устройствах или в водоразборной арматуре у потребителя [1].

Насосы подразделяются на две основные группы: объемные и динамические. Объемными называются насосы, в которых жидкость перемещается путем периодического изменения объема камеры, попеременно сообщающейся со входом и выходом насоса. Динамическими называются насосы, в которых под воздействием гидродинамических сил перемещается с камерой (незамкнутом объеме) жидкость, постоянно сообщающейся со входом и выходом насоса. К ним относятся струйные и лопастные насосы. Действие объемных насосов основано на изменении потенциальной энергии перемещаемой жидкости, а струйных и лопастных - на изменении кинетической энергии.



Жидкость перемещается по подвижным лопастям от центра к периферии, т. е. перпендикулярно оси вращения. Устройство центробежного насоса представлено на рисунке 1.4.

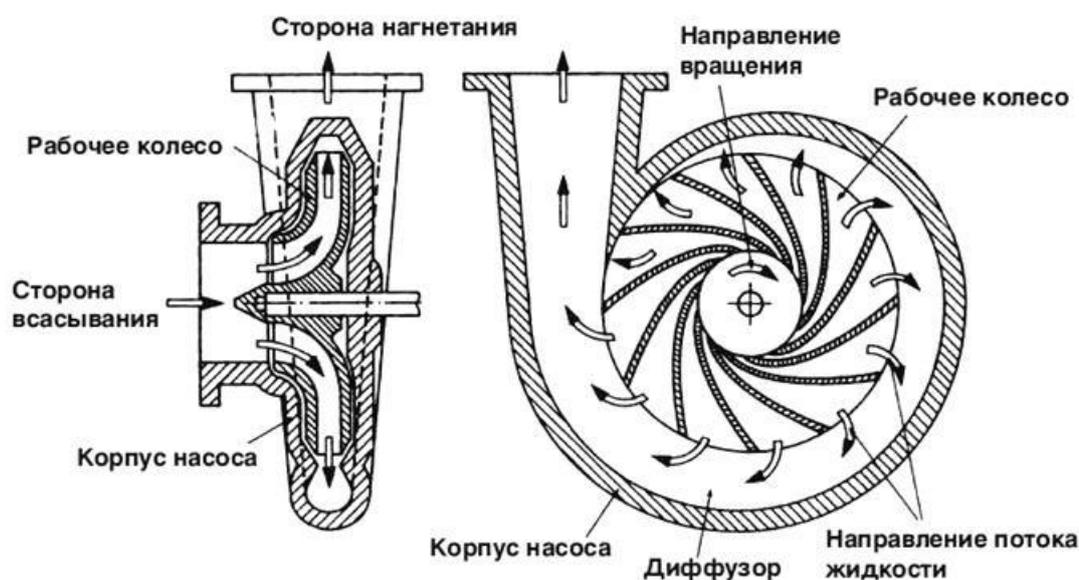


Рисунок 1.4 – Устройство центробежного насоса

Корпус центробежного насоса представляет собой разъемную металлическую отливку, имеющую форму улитки, с 2 фланцами – всасывающим и напорным. Внутри, на валу, располагается рабочее колесо открытого или закрытого типа. Последнее состоит из 2 дисков, между которыми расположены лопасти, изогнутые в направлении, противоположном вращению. В переднем диске имеется отверстие, расположенное напротив всасывающего патрубка.

Принцип работы центробежного насоса основан на действии центробежных сил. При вращении колеса в заполненном водой корпусе жидкость начинает двигаться по лопастям от центра к периферии под влиянием сил инерции. В результате этого на выходе получается избыточное давление, которое выталкивает рабочее тело в напорный трубопровод. Разрежение, создающееся в центре колеса, втягивает воду из всасывающего трубопровода и подает на лопатки. Таким образом, создается непрерывный поток жидкости [1].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Центробежные насосы могут быть как одноступенчатые (с одним рабочим колесом), так и многоступенчатые (с несколькими колёсами). Во многоступенчатом насосе корпус имеет цилиндрическую форму.

Для передачи жидкости с одной ступени на другую устанавливают направляющие аппараты. Устройство располагается над каждым рабочим колесом и представляет собой диск с неподвижными изогнутыми лопатками, которые направляют рабочее тело с выхода вращающегося колеса на всасывающий следующий. Это приводит к существенному повышению давления на последней ступени.

Широкое распространение такого рода систем приводит к тому, что эти системы являются ключевыми объектами ресурсосбережения и энергосбережения.

При работе насосных установок, часть воды, подаваемой потребителю, вытекает через отверстия и щели в трубах, трубопроводной арматуре, санитарно-технических приборах. Кроме того, за счёт повышения напора в сети через водоразборную арматуру потребителю подаётся воды больше, чем требуется. Утечками именуется расход воды через отверстия в трубах, образовавшиеся в результате их повреждения, зазоры в трубопроводной арматуре или в санитарно-технических приборах, а также в стыках между ними. Непроизводительными расходами именуется повышенные расходы воды из водоразборной арматуры, обусловленные повышенным давлением в водопроводной сети. По данным статистики утечки и производительные расходы воды в среднем по России составляют 20—30 % общей подачи воды.

Электроэнергия, потребляемая основными насосными агрегатами, расходуется на подъём жидкости и преодоление гидродинамического сопротивления в трубопроводах. Кроме того, часть ее расходуется в самих насосных агрегатах: на преодоление сил трения в сальниках и подшипниках насосных агрегатов, нагрев стали и меди в электродвигателе, вентиляцию и так далее.

Ограниченная номенклатура насосов, отсутствие точных исходных данных при проектировании насосных установок и сетей, постоянное изменение условий эксплуатации приводят к тому, что реальный режим работы насосных установок может существенно отличаться от расчётного. При этом рабочие параметры насосов отличаются от номинальных значений. Возможны два основных варианта подачи насоса:

- меньше номинального значения (напор выше);
- больше номинального значения (напор ниже).

Работа насоса с КПД, отличающимся от номинального значения, требует увеличения потребляемой мощности и, как следствие, увеличение затрат электроэнергии на транспортировку жидкости. При этом приводной электродвигатель насоса также используется не в номинальном режиме с ухудшением его КПД и  $\cos \varphi$ , что ведёт к появлению дополнительных потерь энергии в электродвигателе и системе электроснабжения [3].

## 2 РАЗРАБОТКА НАСОСНОГО АГРЕГАТА

### 2.1 Выбор насоса

Насос выбираем на основе рабочей характеристики насосного агрегата, а именно по каталогу насосов [2]. Рабочей характеристикой насосного агрегата называют зависимость между подачей насоса  $Q$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , и развиваемым им напором  $H$ , м. Подача – объем жидкости, перекачиваемый насосной установкой за единицу времени, а напор – разность удельных энергий жидкости в напорном и всасывающем патрубках насоса, необходимая для подъема жидкости на заданную высоту и для преодоления сил трения в трубопроводе. Наиболее подходящая рабочая характеристика для задач, описанных в первой главе, присутствует у насосного агрегата – 1Д200-90, изображенная на рисунке 2.1.

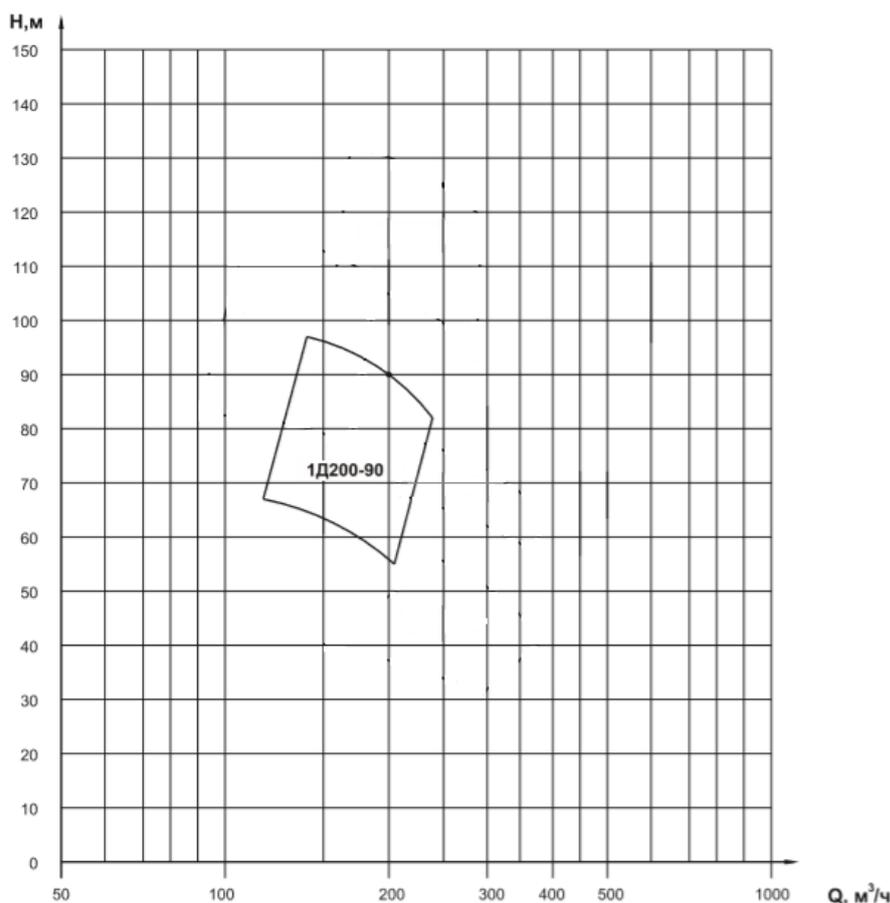


Рисунок 2.1 – Рабочая характеристика насоса

Каталожные данные насосного агрегата сведены в таблицу 2.1.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.166.01ПЗ

Лист

19

Таблица 2.1 – Каталожные данные

Наименование показателя	Величина
Типоразмер насоса (агрегата)	1Д200 – 90
Подача, м <sup>3</sup> /ч	200
Напор, м	90
Допускаемый кавитационный запас, м, не более	5,5
Частота вращения, с <sup>-1</sup> , (об/мин)	48,3 (2900)
Максимальная потребляемая мощность насоса, кВт	82
КПД насоса, %, не менее	75
Масса насоса, кг	145

При выборе рабочей характеристики по каталогу насосов были учтены следующие моменты. Во-первых, данный насосный агрегат ориентирован на подсоединение электродвигателя с возможностью регулирования скорости. При этом изменяется положение напорно-расходной характеристики насоса. Уменьшая частоту вращения, перемещают характеристику насоса вниз. При этом рабочая точка, перемещаясь по характеристике трубопровода, занимает нижнее положение, следовательно, подача уменьшается. Одновременно уменьшается напор в сети и напор, развиваемый насосом. Увеличение частоты вращения увеличивает подачу и напор насоса, а также напор в сети. Во-вторых, потребляемая мощность центробежного насоса – есть ни что иное как передаваемая от электродвигателя к муфте или валу насоса механическая энергия, она определяется при помощи следующей формулы:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta} \text{ в кВт,} \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность перекачиваемой жидкости, кг/дм<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$Q$  – подача, л/с ;

$H$  – напор, м;

$\eta$  – коэффициент полезного действия насоса.

Подставив в формулу (1) известные значения, получим потребляемую мощность насоса.

$$P = \frac{0,99 \cdot 9,81 \cdot 55,6 \cdot 90}{1000 \cdot 0,75} = 64,8 \text{ кВт.}$$

## 2.2 Выбор электродвигателя.

Как уже было отмечено ранее, для регулирования параметров насоса выбираем асинхронный электродвигатель переменного тока. Использование регулируемого асинхронного электропривода для управления насосным агрегатом дает возможность обеспечить:

- 1) плавный пуск электродвигателя, отсутствие механических нагрузок на двигатель и бросков тока в сети;
- 2) отсутствие гидравлических ударов;
- 3) эффективное использование потребляемой насосным агрегатом мощности во всем диапазоне регулирования;
- 4) обеспечение коэффициента мощности электродвигателя насоса на значении, близком к 1;
- 5) снижение уровня шума при пуске и работе;
- 6) обеспечение автономной и безопасной работы, интеграция в АСУ ТП.

Далее, при выборе электродвигателя необходимо знать режим работы насосной установки. При разработке автоматизации насосной установки была выбрана насосная станция, имеющая режим работы – продолжительный.

От правильного выбора электродвигателя зависят надежность его работы в электроприводе и энергетические показатели в процессе эксплуатации. В тех случаях, когда нагрузка двигателя существенно меньше номинальной, он недоиспользуется по мощности, что свидетельствует об излишних капитальных вложениях, его КПД и коэффициент мощности заметно снижаются.

Электродвигатель подбирается по частоте вращения, по рабочему положению (горизонтальный, вертикальный), мощности, напряжению и виду исполнения.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.166.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		21

При выборе типа электродвигателя основных насосов придерживаются примерно следующего принципа. До мощности 250 кВт устанавливают асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Если мощности превышают 250 кВт, устанавливают синхронные электродвигатели высокого напряжения.

Мощность необходимая для привода насоса, определяется по формуле:

$$P = \frac{k \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta_n \cdot \eta_p} \cdot 10^{-3} \text{ в кВт,} \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент запаса, учитывающий возможные перегрузки электродвигателя при эксплуатации (1,1...1,4);

$\rho$  – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$Q$  – подача, м<sup>3</sup>/ч;

$H$  – напор, м;

$\eta_n$  – коэффициент полезного действия насоса;

$\eta_p$  – коэффициент полезного действия передачи.

Подставив в формулу (2) известные значения, получим необходимую мощность для привода насоса.

$$P = \frac{1,3 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 200 \cdot 90}{1000 \cdot 0,75 \cdot 1} \cdot 10^{-3} = 306,1 \text{ кВт.}$$

По полученной мощности выбираем асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором АИР355М2, изображенный на рисунке 2.2. Двигатели унифицированной серии АИР являются самыми распространёнными в промышленности, за счет простоты конструкции и выгодной стоимости при высокой надежности в эксплуатации, а также находят широкое применение в насосных установках.

Данный электродвигатель универсален относительно применяемой системы управления, имеет продолжительный режим работы, класс защиты – IP54, а также преимущественно постоянная скорость на выходе при разных нагрузках.



Рисунок 2.2 – Асинхронный электродвигатель АИР355М2

Каталожные параметры двигателя представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Каталожные данные двигателя АИР355М2

Наименование показателя	Величина
Номинальная мощность на валу, кВт	315
Номинальная частота вращения, об/мин	2980
Номинальное напряжение двигателя, В	380
Номинальный ток при 380 В, А	544
Номинальный крутящий момент, Н·м	1010
Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>	3,5
КПД, %	95,6
cosφ	0,92
I <sub>пуск</sub> /I <sub>ном</sub>	7,1
M <sub>пуск</sub> /M <sub>ном</sub>	1,6
M <sub>макс</sub> /M <sub>ном</sub>	2,2
Масса, кг	1760

### 3. ВЫБОР СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

#### 3.1 Выбор преобразователя частоты

При выборе преобразователя частоты для асинхронного электродвигателя руководствуемся следующими условиями:

$$U_{\text{нпч}} \geq U_{\text{н}}; I_{\text{нпч}} \geq I_{\text{н}},$$

где  $U_{\text{н}}, I_{\text{н}}$  – номинальные линейное напряжение и фазный ток статора электродвигателя;

$U_{\text{нпч}}, I_{\text{нпч}}$  – номинальные линейное напряжение и ток нагрузки преобразователя частоты.

Выбираем преобразователь частоты фирмы «Schneider Electric» ATV650C31N4F, представленный на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Преобразователь частоты ATV650C31N4F

Характеристики преобразователя частоты приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Характеристики ПЧ – ATV650C31N4F

Наименование показателя	Величина
Краткое название устройства	ATV650
Номинальное линейное напряжение, В	380
Номинальный ток нагрузки, А	566
Номинальная мощность, кВт	315
Полная мощность, кВт·А	373
Непрерывный выходной ток, А	590
Максимальный переходный ток в течении 60 с, А	649
Частота сети питания, Гц	50...60
Выходная частота, Гц	0,1...500
Масса, кг	420
Габаритные размеры:	
- ширина, мм	600
- высота, мм	2350
- глубина, мм	669
Степень защиты	IP54
Уровень шума, дБ	70
Тип охлаждения	Принудительная конвекция

### 3.2 Выбор сетевого дросселя

Сетевой дроссель снижает выбросы тока, вызванные скачками напряжения в сети, а также улучшает форму тока, потребляемого преобразователем частоты. При выборе сетевого дросселя для преобразователя частоты руководствуемся следующими условиями:

$$U_{нсдр} \geq U_{нс}; \quad I_{нсдр} \geq I_{н.вх.пч},$$

где  $U_{нс}$  – номинальное напряжение сети;

$I_{н.вх.пч}$  – номинальный входной ток преобразователя частоты;

$U_{нсдр}, I_{нсдр}$  – номинальные линейное напряжение и номинальный ток сетевого дросселя.

Выбираем сетевой дроссель ED3N – 0,023/630 AL, представленный на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Сетевой дроссель ED3N – 0,023/630 AL

Характеристики дросселя представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Характеристики сетевого дросселя ED3N – 0,023/630 AL

Наименование показателя	Величина
Номинальный ток, А	630
Номинальное линейное напряжение, В	400
Индуктивность, мГн	0,023
Частота первой гармоники, Гц	50
Перегрузка, %	110
Класс изоляции	F
Степень защиты	IP00
Рабочая температура, °С	40
Габаритные размеры:	
- длина, мм	420
- ширина, мм	202
- высота, мм	415
Вес, кг	44,8

Большинство производителей электротехнического оборудования рекомендуют выбирать индуктивность входного дросселя исходя из условия, чтобы падение напряжения на дросселе не превышало 3-5% от сетевого напряжения.

Падение напряжение на дросселе рассчитывается по формуле:

$$\Delta U = 2\pi \cdot f \cdot L_{\text{сдр}} \cdot I_{\text{нсдр}}, \quad (3)$$

где  $L_{\text{сдр}}$  – индуктивность сетевого дросселя,

$I_{\text{нсдр}}$  – номинальный ток сетевого дросселя.

Подставив в формулу (3) известные значения, получим необходимое падение напряжение на дросселе.

$$\Delta U = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,000023 \cdot 630 = 4,5 \text{ В.}$$

### 3.3 Выбор моторного дросселя

Моторные дроссели – фильтры низких частот, которые устанавливаются на выходе преобразователя частоты непосредственно перед асинхронным двигателем.

Выходные моторные дроссели обеспечивают:

- а) подавление высокочастотных гармоник в токе двигателя;
- б) ограничение амплитуды тока короткого замыкания и снижение его скорости нарастания;
- в) компенсируют емкостные токи длинных моторных кабелей;
- г) снижают выбросы напряжения на обмотках двигателя.

При выборе моторного дросселя руководствуемся следующими условиями:

$$U_{\text{нмдр}} \geq U_{\text{н}}; \quad I_{\text{нмдр}} \geq I_{\text{н}},$$

где  $U_{\text{н}}$ ,  $I_{\text{н}}$  – номинальные линейное напряжение и фазный ток статора двигателя;

$U_{\text{нмдр}}$ ,  $I_{\text{нмдр}}$  – номинальные линейное напряжение и номинальный ток моторного дросселя.

Выбираем моторный дроссель ED3S – 0,025/650 AL, представленный на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Моторный дроссель ED3S – 0,025/650 AL

Характеристики моторного дросселя представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Характеристики моторного дросселя ED3S – 0,025/650 AL

Наименование показателя	Величина
Номинальный ток, А	650
Номинальное линейное напряжение, В	400
Индуктивность, мГн	0,025
Частота первой гармоники, Гц	50
Перегрузка, %	110
Класс изоляции	F
Степень защиты	IP00
Рабочая температура, °С	40
Габаритные размеры:	
- длина, мм	420
- ширина, мм	290
- высота, мм	420
Вес, кг	80

### 3.4 Выбор датчика давления жидкости

В процессе разработки автоматизации насосной станции нам потребуется 2 датчика давления жидкости.

Выберем датчик давления Nipress производства фирмы «NIVELCO», представленный на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Датчик давления жидкости Nipress

Данные датчики работают в 2- или 3-проводных системах и пропорционально преобразуют давление (входной сигнал) в ток или напряжение (выходной сигнал). Данная модель обеспечивает возможность решить практически все задачи различной точности по измерению относительного или абсолютного давления, а благодаря своей конструкции, высокой перегрузочной способности и возможности установки практически в любом положении изделия имеют широкий диапазон применения.

Характеристики датчика представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Характеристики датчика давления Nipress

Наименование показателя	Величина
Диапазон измеряемого давления, бар	1...600
Точность, %	0,25/0,5
Температура процесса, °C	-25...+300
Тип преобразователя	Емкостный/Пьезоэлектрический
Выходной сигнал, мА/В	4...20/0...10
Напряжения питания, В	12...35 DC
Степень защиты	IP67

#### 4 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В процессе разработки данного проекта нам потребуется рассчитать естественные механические и электромеханические характеристики для электродвигателя АИР355М2. Существенно облегчает расчет характеристик – применение программы «harad» из каталогов вычислительного центра кафедры электропривода ЮУрГУ, которая обеспечивает расчет статических механических и электромеханических характеристик асинхронного электропривода по Т-образной схеме замещения. Рассчитанные естественные статические характеристики представлены на рисунке 4.1.

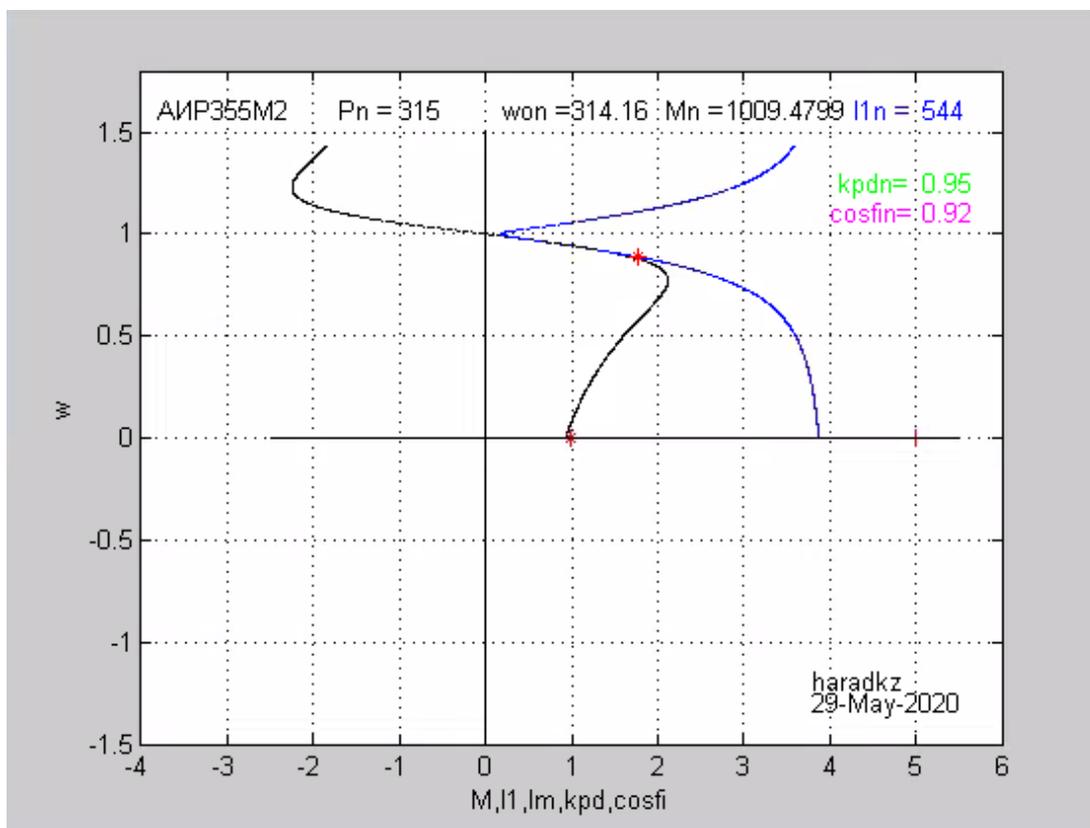


Рисунок 4.1 – Естественные механическая и электромеханическая характеристики электродвигателя АИР355М2

Помимо естественных статических характеристик, нам потребуются искусственные механические и электромеханические характеристики, обеспечивающие регулирование скорости насоса во всем диапазоне поддержания выходной координаты насосной станции.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.166.01ПЗ

Лист

30

На данной насосной станции планируется изменять напор в диапазоне от 20 до 80 метров, поэтому необходимо рассчитать скорости в заданных точках. Скорость рассчитаем по соотношению (4):

$$\frac{H_{\text{НОМ}}}{H_{\text{var}}} = \left(\frac{n_{\text{НОМ}}}{n_{\text{var}}}\right)^2, \quad (4)$$

где  $H_{\text{НОМ}}$  – номинальный напор насоса, м;

$H_{\text{var}}$  – переменный напор насоса, м;

$n_{\text{НОМ}}$  – номинальная частота вращения, рад/с;

$n_{\text{var}}$  – переменная частота вращения, рад/с.

Подставив в соотношение (4) известные значения, при напоре в 20 метров, получаем скорость в заданной точке – 147 рад/с или 0,47 в о.е..

Далее рассчитаем скорость идеального холостого хода по формуле (5):

$$\omega_{\text{ОН}} = \frac{2\pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314 \text{ рад/с}, \quad (5)$$

где  $f$  – частота питающей сети, Гц;

$p$  – число пар полюсов.

Помимо скорости, рассчитаем номинальное скольжение двигателя по формуле (6):

$$S_{\text{Н}} = \frac{\omega_{\text{ОН}} - \omega_{\text{Н}}}{\omega_{\text{ОН}}} = \frac{314 - 312}{314} = 0,006, \quad (6)$$

где  $\omega_{\text{ОН}}$  – скорость идеального холостого хода, рад/с;

$\omega_{\text{Н}}$  – номинальная частота вращения двигателя, рад/с;

По полученным результатам рассчитаем расчетные параметры для 1 найденной скорости по формулам (7) и (8):

$$\bar{w}_{\text{0зад}} = \bar{w}_{\text{зад}} + \bar{M}_{\text{ЗАд}} \cdot S_{\text{Н}} = 0,47 + 1 \cdot 0,006 = 0,476 \text{ о. е.}, \quad (7)$$

$$w_{\text{0зад}} = \bar{w}_{\text{0зад}} \cdot w_{\text{ОН}} = 0,476 \cdot 314 = 147 \text{ рад/с}. \quad (8)$$

Частоту и напряжение на статоре в заданной точке рассчитаем по формуле (9):

$$a = \frac{f_1}{f_{1\text{Н}}} = \bar{w}_{\text{0зад}}, \quad (9)$$

$$f_1 = a \cdot f_{1H} = 0,476 \cdot 50 = 23,8 \text{ Гц},$$

$$U_1 = a \cdot U_{1H} = 0,476 \cdot 220 = 104,7 \text{ В}.$$

Аналогично, подставив в соотношение (4) известные значения, при напоре в 80 метров, получаем скорость в заданной точке – 294 рад/с или 0,94 в о.е..

Также рассчитаем расчетные параметры для 2 найденной скорости по формулам (7), (8) и (9):

$$\bar{w}_{0зад} = \bar{w}_{зад} + \bar{M}_{3АД} \cdot S_H = 0,94 + 1 \cdot 0,006 = 0,946 \text{ о.е.},$$

$$w_{0зад} = \bar{w}_{0зад} \cdot w_{0H} = 0,946 \cdot 314 = 294 \text{ рад/с},$$

$$a = \frac{f_2}{f_{2H}} = \bar{w}_{0зад},$$

$$f_2 = a \cdot f_{2H} = 0,946 \cdot 50 = 47,3 \text{ Гц},$$

$$U_2 = a \cdot U_{2H} = 0,946 \cdot 220 = 208,1 \text{ В}.$$

По полученным результатам построим искусственные механические и электромеханические характеристики для найденных скоростей в программе «harad».

Построенные характеристики представлены на рисунке 4.2.

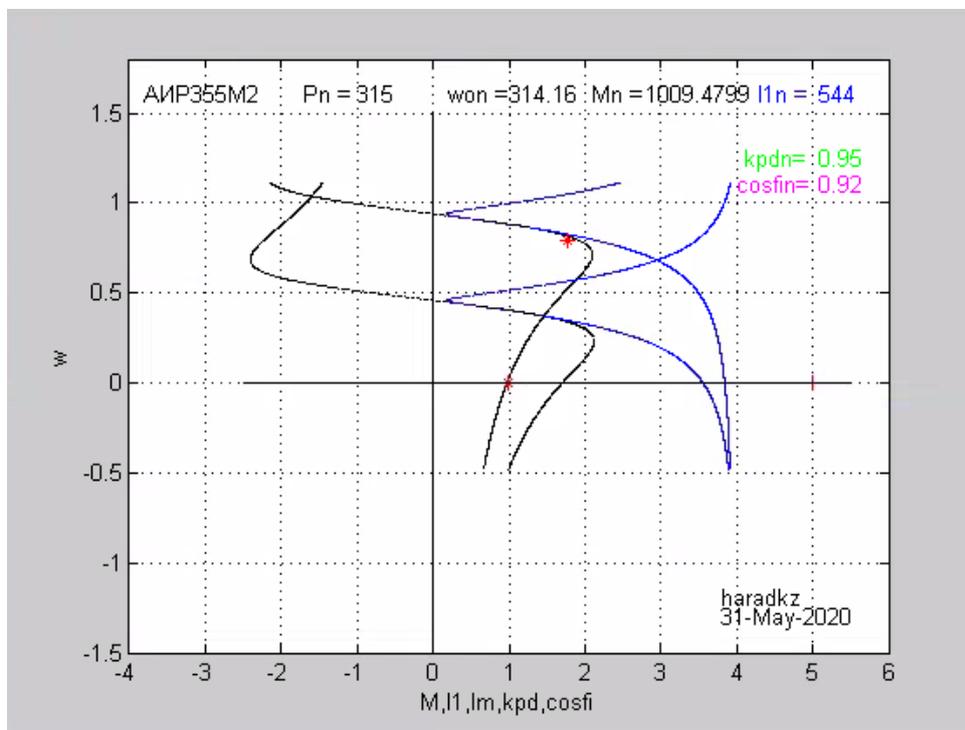


Рисунок 4.2 – Искусственные механические и электромеханические характеристики электродвигателя АИР355М2

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.166.01ПЗ

Лист

32

Насосное и вентиляторное оборудование имеет момент статической нагрузки, зависящий от скорости вращения насоса. Для таких систем наиболее эффективен квадратичный закон регулирования напряжения и частоты ( $\frac{U}{f^2} = const$ ), поэтому построим искусственные механические и электромеханические характеристики по данному закону.

Расчетные параметры для 1 найденной скорости рассчитаем по формулам (7) и (8):

$$\bar{w}_{0зад} = \bar{w}_{зад} + \bar{M}_{3АД} \cdot S_H = 0,47 + 1 \cdot 0,006 = 0,476 \text{ о. е.},$$

$$w_{0зад} = \bar{w}_{0зад} \cdot w_{0Н} = 0,476 \cdot 314 = 147 \text{ рад/с.}$$

Параметры частоты и напряжения на статоре рассчитаем по формуле (10):

$$a = \frac{f_1^2}{f_{1Н}^2} = \bar{w}_{0зад}, \quad (10)$$

$$f_1^2 = a \cdot f_{1Н}^2,$$

$$f_1^2 = 0,476 \cdot 2500,$$

$$f_1 = 34,5 \text{ Гц,}$$

$$U_1 = a \cdot U_{1Н} = 0,476 \cdot 220 = 104,7 \text{ В.}$$

Аналогично, рассчитаем расчетные параметры для 2 найденной скорости по формулам (7), (8) и (10):

$$\bar{w}_{0зад} = \bar{w}_{зад} + \bar{M}_{3АД} \cdot S_H = 0,94 + 1 \cdot 0,006 = 0,946 \text{ о. е.},$$

$$w_{0зад} = \bar{w}_{0зад} \cdot w_{0Н} = 0,946 \cdot 314 = 294 \text{ рад/с,}$$

$$a = \frac{f_2^2}{f_{2Н}^2} = \bar{w}_{0зад},$$

$$f_2^2 = a \cdot f_{2Н}^2,$$

$$f_2^2 = 0,946 \cdot 2500,$$

$$f_2 = 48,6 \text{ Гц,}$$

$$U_2 = a \cdot U_{2Н} = 0,946 \cdot 220 = 208,1 \text{ В.}$$

По полученным результатам построим искусственные механические и электромеханические характеристики для найденных скоростей в программе «harad».

Построенные характеристики представлены на рисунке 4.3.

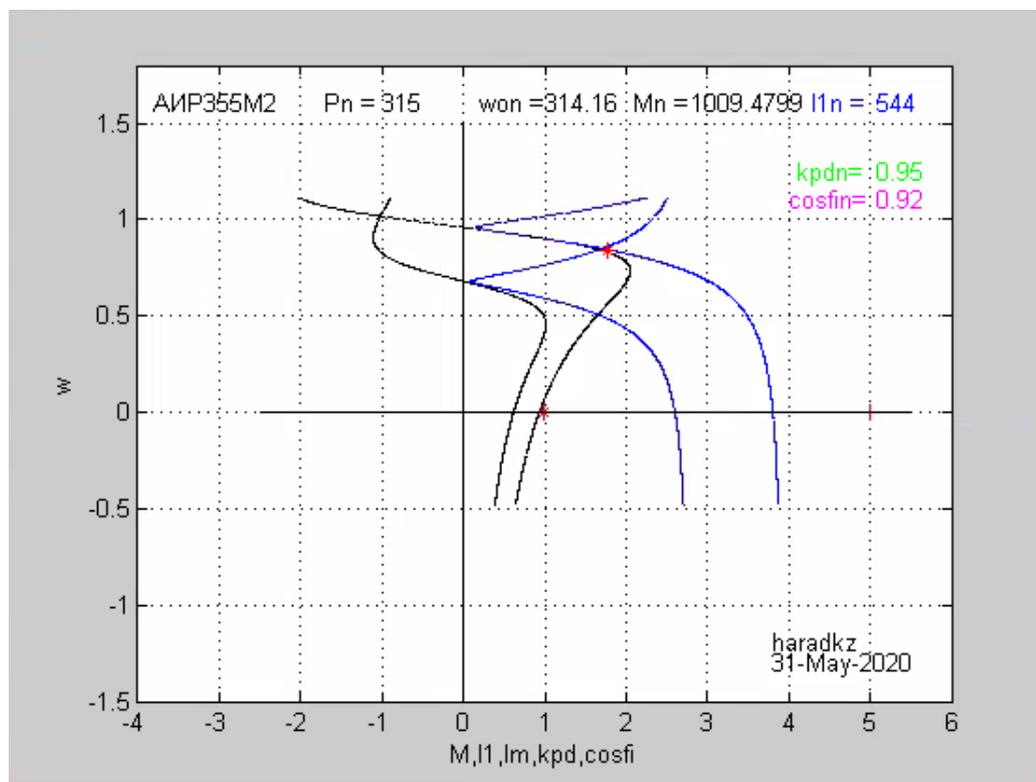


Рисунок 4.3 – Искусственные механические и электромеханические характеристики электродвигателя АИР355М2

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.166.01ПЗ

Лист

34



Задвижки В5, В6 и В7 являются ручными. В напорной части водопровода находятся невозвратно-запорные клапаны Х1, Х2 и Х3.

Система управления насосной станции работает в автоматическом и ручном режимах. Переключение режимов осуществляется с пульта управления.

В автоматическом режиме регулирование давления осуществляется контроллером. Текущее значение давления в напорной части водопровода поступает от датчика давления Р1.

В соответствии с поступившим значением давления контроллер дает задание на преобразователь частоты UZ и подключает его к одному из трех насосов. Одновременно могут работать два насоса, один из насосов находится в резерве (он выбирается на пульте управления). Контроллер управляет всей электроавтоматикой, открывает и закрывает необходимые задвижки. В режиме пуска системы контроллер проверяет наличие давления во всасывающей части водопровода посредством датчика давления Р2.

В ручном режиме станция управляется с поста оператора РО, куда поступает информация о режиме работы станции, об аварии в системе, о работающих насосах и состоянии задвижек (открытое или закрытое).

Выбор режима работы (ручного или автоматического) осуществляется оператором насосной станции с поста оператора. Для пуска или останова системы в автоматическом режиме или вывода СУ из аварийного режима используются кнопки «Пуск» или «Стоп». Постоянно в работе могут находиться один или два насоса, третий насос является резервным (профилактический осмотр, плановый ремонт). Резервный насос выбирают положением переключателя на посту оператора. После выбора резервного насоса в автоматическом режиме закрывается задвижка, находящаяся в напорной части водопровода этого насоса, две другие задвижки открыты.

В автоматическом режиме закрыта задвижка байпасной трубы, она открыта только при ручном регулировании [4].

## 5.2 Разработка списка сигналов систем автоматизации

Из представленного описания технологического процесса насосной станции следует, что система автоматизации должна обеспечить работу в двух режимах: ручном и автоматическом.

Разработаем команды, поступающие с пульта управления в систему автоматизации и на исполнительные устройства. Команды представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Команды с пульта управления

Название команды	Условное обозначение	Кнопка/тумблер, отвечающие за команду на пульте управления
Выбор режима работы: ручной или автоматический	PP	SA1
Выбор резервного насоса: Н1 или Н2 или Н3	PH	SA2
Пуск насоса №1	ПускН1	SB1
Стоп насоса №1	СтопН1	SB2
Пуск насоса №2	ПускН2	SB3
Стоп насоса №2	СтопН2	SB4
Пуск насоса №3	ПускН3	SB5
Стоп насоса №3	СтопН3	SB6
Кнопка открытия первой задвижки В1	ОВ1	SB7
Кнопка закрытия первой задвижки В1	ЗВ1	SB8
Кнопка открытия второй задвижки В2	ОВ2	SB9
Кнопка закрытия второй задвижки В2	ЗВ2	SB10
Кнопка открытия третьей задвижки В3	ОВ3	SB11
Кнопка закрытия третьей задвижки В3	ЗВ3	SB12

Продолжение таблицы 5.1

Кнопка открытия четвертой задвижки В4	ОВ4	SB13
Кнопка закрытия четвертой задвижки В4	ЗВ4	SB14

Помимо сигналов с пульта управления в систему автоматизации, имеются сигналы, которые поступают с датчиков давления жидкости, которые представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Входные сигналы с датчиков

Название сигнала	Условное обозначение
Сигнал с датчика давления жидкости P1	P1
Сигнал с датчика давления жидкости P2	P2

Также присутствуют сигналы, поступающие на пульт управления, которые представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Сигналы на пульт управления

Название сигнала	Условное обозначение	Лампы на пульте управления, сигнализирующие о получении сигнала
Работа насоса №1	РабН1	HL1
Останов или авария насоса №1	АврН1	HL2
Работа насоса №2	РабН2	HL3
Останов или авария насоса №2	АврН2	HL4
Работа насоса №3	РабН3	HL5
Останов или авария насоса №3	АврН3	HL6
Первая задвижка В1 в открытом состоянии	ОткрВ1	HL7
Вторая задвижка В2 в открытом состоянии	ОткрВ2	HL8
Третья задвижка В3 в открытом состоянии	ОткрВ3	HL9
Четвертая задвижка В4 в открытом состоянии	ОткрВ4	HL10

Для управления насосными установками, задвижками, а также для слежения рабочих параметров, разработаем пульт управления насосной станции. Разработанный пульт управления представлен на рисунке 5.2.

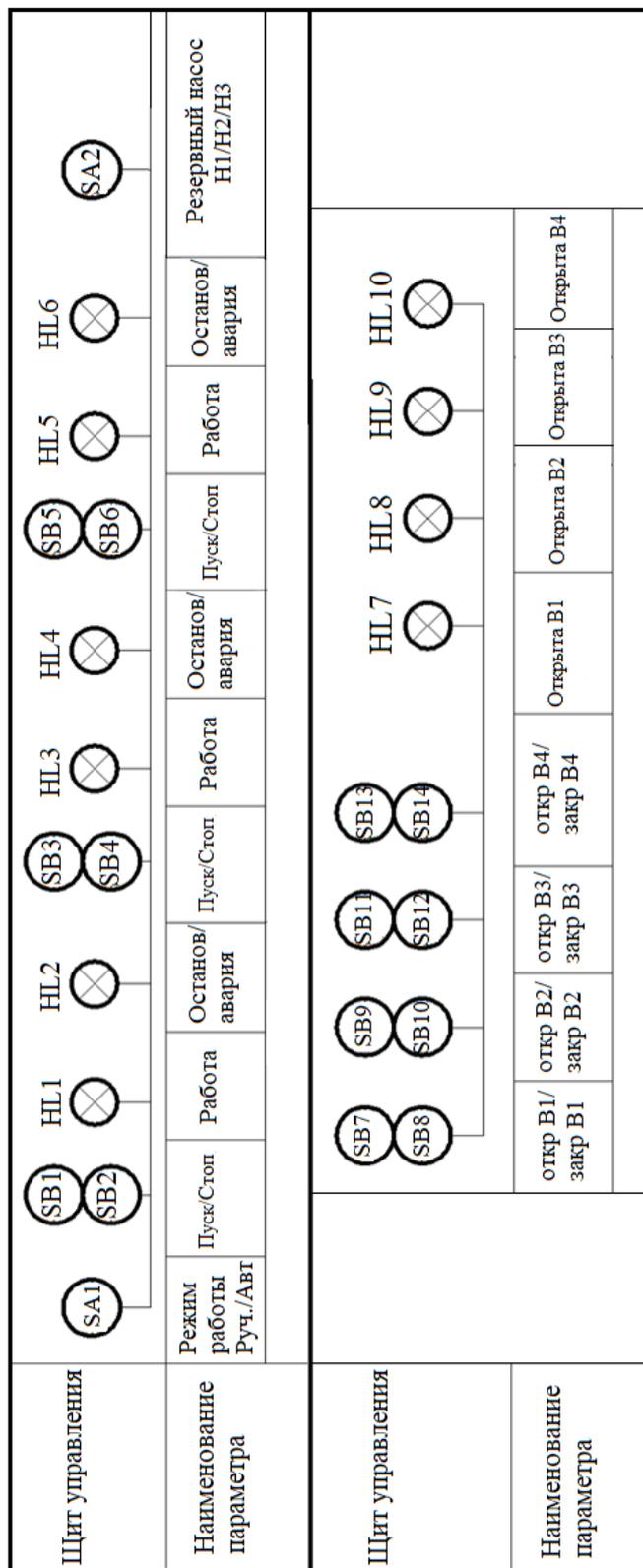


Рисунок 5.2 – Пульт управления насосной станции

### 5.3 Разработка алгоритма работы системы автоматизации

Программу для контроллера разделим условно-функционально на 2 блока: «блок ручного управления» и «блок автоматического управления».

Переключение на ручное управление осуществляется тумблером SA1. В данном режиме включение/отключение насосов и закрытие/открытие задвижек осуществляется самостоятельно с помощью соответствующих кнопок.

Насос №1 включается нажатием кнопки «Пуск» и отключается нажатием кнопки «Стоп»:

$$РабН1 = (ПускН1 + РабН1) \cdot \overline{СтопН1} \cdot \overline{РР}.$$

Насос №2 включается нажатием кнопки «Пуск» и отключается нажатием кнопки «Стоп»:

$$РабН2 = (ПускН2 + РабН2) \cdot \overline{СтопН2} \cdot \overline{РР}.$$

Насос №3 включается нажатием кнопки «Пуск» и отключается нажатием кнопки «Стоп»:

$$РабН3 = (ПускН3 + РабН3) \cdot \overline{СтопН3} \cdot \overline{РР}.$$

Задвижки открываются при нажатии кнопки «Открыть» и закрываются при нажатии кнопки «Закреть»:

$$ОткрВ1.1 = (ОВ1 + ОткрВ1.1) \cdot \overline{ЗВ1} \cdot \overline{РР}.$$

$$ОткрВ2.1 = (ОВ2 + ОткрВ2.1) \cdot \overline{ЗВ2} \cdot \overline{РР}.$$

$$ОткрВ3.1 = (ОВ3 + ОткрВ3.1) \cdot \overline{ЗВ3} \cdot \overline{РР}.$$

$$ОткрВ4.1 = (ОВ4 + ОткрВ4.1) \cdot \overline{ЗВ4} \cdot \overline{РР}.$$

Если первая задвижка оказалась закрытой, то отключается Насос №1:

$$РабН1 = \overline{ОткрВ1.1} \cdot \overline{РР}.$$

Если вторая задвижка оказалась закрытой, то отключается Насос №2:

$$РабН2 = \overline{ОткрВ2.1} \cdot \overline{РР}.$$

Если третья задвижка оказалась закрытой, то отключается Насос №3:

$$РабН3 = \overline{ОткрВ3.1} \cdot \overline{РР}.$$

В автоматическом режиме регулирование давления осуществляется контроллером. Текущее значение давления в напорной части водопровода поступает от датчика давления P1.

В соответствии с поступившим значением давления контроллер дает задание на преобразователь частоты UZ и подключает его к одному из трех насосов. Одновременно могут работать два насоса, один из насосов находится в резерве (он выбирается на пульте управления). Контроллер управляет всей электроавтоматикой, открывает и закрывает необходимые задвижки. В режиме пуска системы контроллер проверяет наличие давления во всасывающей части водопровода посредством датчика давления P2.

Первая задвижка закрывается, если был выбран Резервный насос №1:

$$\text{ЗакрВ1} = (\text{РН1} + \text{ЗакрВ1}) \cdot \overline{\text{РН2}} \cdot \overline{\text{РН3}} \cdot \text{РР} .$$

Вторая задвижка закрывается, если был выбран Резервный насос №2:

$$\text{ЗакрВ2} = (\text{РН2} + \text{ЗакрВ2}) \cdot \overline{\text{РН1}} \cdot \overline{\text{РН3}} \cdot \text{РР} .$$

Третья задвижка закрывается, если был выбран Резервный насос №3:

$$\text{ЗакрВ3} = (\text{РН3} + \text{ЗакрВ3}) \cdot \overline{\text{РН1}} \cdot \overline{\text{РН2}} \cdot \text{РР} .$$

Четвертая задвижка закрывается в автоматическом режиме:

$$\text{ЗакрВ4} = (\text{РР} + \text{ЗакрВ4}) \cdot \overline{\text{РР}} .$$

В случае аварии Насоса №1 (Н1) задвижка В1 закрывается:

$$\text{ОткрВ1.2} = \overline{\text{АврН1}} \cdot \text{РР} .$$

В случае аварии Насоса №2 (Н2) задвижка В2 закрывается:

$$\text{ОткрВ2.2} = \overline{\text{АврН2}} \cdot \text{РР} .$$

В случае аварии Насоса №3 (Н3) задвижка В3 закрывается:

$$\text{ОткрВ3.2} = \overline{\text{АврН3}} \cdot \text{РР} .$$

Выше использовались следующие промежуточные переменные:

ОткрВN. 1 ... ОткрВN. 2 – промежуточные переменные для сигнала «N- задвижка в открытом состоянии»

Сигнал «первая задвижка В1 в открытом состоянии»:

$$\text{ОткрВ1} = \text{ОткрВ1.1} + \text{ОткрВ1.2} .$$

Сигнал «вторая задвижка В2 в открытом состоянии»:

$$\text{ОткрВ2} = \text{ОткрВ2.1} + \text{ОткрВ2.2} .$$

Сигнал «третья задвижка В3 в открытом состоянии»:

$$\text{ОткрВ3} = \text{ОткрВ3.1} + \text{ОткрВ3.2} .$$

Сигнал «четвертая задвижка В4 в открытом состоянии»:

$$\text{ОткрВ4} = \text{ОткрВ4.1} + \text{ОткрВ4.2} .$$

#### 5.4 Разработка функциональной схемы автоматизации

На рисунке 5.3 представлена функциональная схема насосной станции. Опишем ее элементы и функциональные блоки:

В1, В2, В3, В4, В5, В6 и В7 – задвижки насосной станции, выполняющие защитную функцию;

Х1, Х2 и Х3 – обратные клапана, предотвращающие обратный приток жидкости через насос;

Н1, Н2 и Н3 – насосы, который выполняют основную работу насосной станции;

М4, М5, М6 и М7 – асинхронные двигатели, установленные на задвижки, с целью их закрытия/открытия;

М1, М2 и М3 – асинхронные электродвигатели, установленные на насосы;

Р1 и Р2 – датчики давления жидкости, предназначенные для определения давления в напорной и всасывающей части водопровода;

ПЧ – преобразователь частоты, предназначенный для регулирования производительности насосов путем изменения частоты и напряжения питания двигателей;

ПЛК – программируемый логический контроллер, который реализует общий алгоритм управления НС;



## 5.5 Выбор элементной базы системы автоматизации

При разработке элементной базы системы автоматизации нам потребуются: программируемый логический контроллер, 3 электродвигателя для насосов, 4 электродвигателя для задвижек, преобразователь частоты, 2 датчика давления, а также элементы пульта управления.

Двигатели для насосов и задвижек, преобразователь частоты и датчики давления возьмем из описанной выше 2 главы.

Для нашей задачи отлично подойдет контроллер фирмы «Automation Direct» – Direct LOGIC 06, представленный на рисунке 5.4. Данный контроллер имеет моноблочную конструкцию, а также включает в себя фиксированное количество точек ввода/вывода с 4 дополнительными слотами расширения. Питание контроллера осуществляется от сети переменного тока напряжением 100...240 В частотой 50/60 Гц. Потребляемая мощность не более 40 ВА.



Рисунок 5.4 – Внешний вид контроллера DL06

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.166.01ПЗ

Лист

44

Основные особенности данного контроллера :

- а) 8 конфигураций ввода/вывода;
- б) 229 команд, в том числе тригонометрические функции;
- в) 8 контуров ПИД-регулирования с автонастройкой;
- г) встроенная поддержка протоколов: Modbus RTU ведущий/ведомый, ASCII ввод/вывод и DirectNET ведущий/ведомый;
- д) поддержка Ethernet и DeviceNET ведомый (дополнительные модули);
- е) встроенные часы реального времени и календарь;
- ж) дополнительная LCD панель.

В процессе разработки нам также потребуются элементы пульта управления. Для пульта управления понадобятся светодиодные лампы, тумблера/кнопки, а также блок питания.

Выберем 3 светодиода красного свечения GNL-3014HD для индикации сигналов «Авария», а также 7 светодиодов зеленого свечения GNL-3014GC для индикации остальных сигналов. Данные светодиоды представлены на рисунке 5.6.

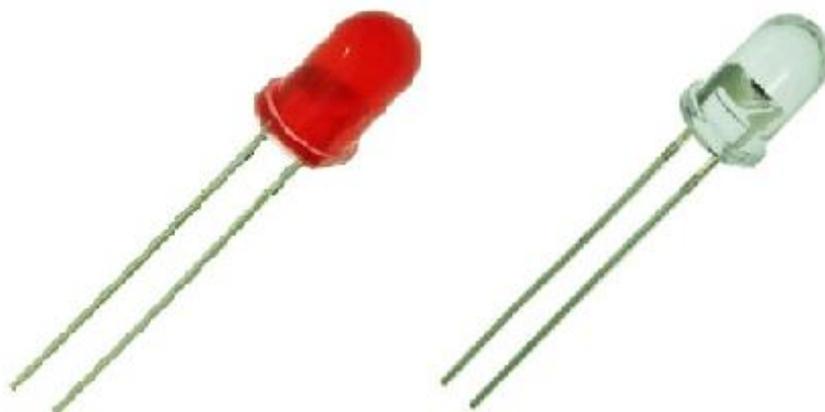


Рисунок 5.6 – Светодиоды красного и зеленого свечений

Они имеют одинаковые технические параметры за исключением цвета свечения, которые представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Параметры светодиодов

Наименование показателя	Величина
Постоянный прямой ток, мА	30
Обратное напряжение, В	5
Обратный ток, мкА	10
Максимальный прямой ток в течении 1 мс, мА	150
Диапазон температур, °С	-40...+80

Помимо светодиодных ламп нам понадобятся 14 кнопок на 50В для включения/отключения насосов в ручном режиме, а также для открытия/закрытия задвижек в ручном режиме. Выберем кнопку PBS18В, изображенную на рисунке 5.7



Рисунок 5.7 – Кнопка PBS18В

Параметры кнопки представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Параметры кнопки PBS18В

Наименование показателя	Величина
Рабочий ток, А	0,1
Рабочее напряжение, В	50
Масса, г	1,14

Также нам потребуется 2 тумблера: первый – на включение режима работы насосов; второй – на выбор резервного насоса. Для включения режима работы выбираем тумблер ASW-14-102 (ON-ON), представленный на рисунке 5.8.



Рисунок 5.8 - Тумблер ASW-14-102 (ON-ON)

Параметры тумблера представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Параметры тумблера ASW-14-102

Наименование показателя	Величина
Рабочий ток, А	20
Рабочее напряжение, В	12
Масса, г	9,5

Для выбора резервного насоса выбираем тумблер GPTS-6A (ON-ON-ON), представленный на рисунке 5.9.



Рисунок 5.9 – Тумблер GPTS-6A (ON-ON-ON)

Параметры тумблера представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Параметры тумблера GPTS-6A

Наименование показателя	Величина
Рабочий ток, А	6
Рабочее напряжение, В	50
Масса, г	10

Для выбора блока питания нужно рассчитать суммарную мощность всех потребителей, а именно 10 светодиодов, 14 кнопок и 2 тумблера:

$$P_{\text{БП}} = 10 \cdot U_{\text{СВ}} \cdot I_{\text{СВ}} + 14 \cdot U_{\text{КН}} \cdot I_{\text{КН}} + 2 \cdot U_{\text{ТУ}} \cdot I_{\text{ТУ}} = 1,5 + 70 + 540 = 611,5 \text{ Вт}$$

Выберем блок питания фирмы «Mean Well» SE-1000-15, представленный на рисунке 5.10.



Рисунок 5.10 – Блок питания SE-1000-15

Параметры блока питания приведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Параметры блока питания SE-1000-15

Наименование показателя	Величина
Рабочий ток, А	66,7
Рабочее напряжение, В	15
Мощность, Вт	1000

## 5.6 Разработка программного обеспечения

Так как в данном разделе был выбран в качестве ПЛК контроллер фирмы «Automation Direct» – Direct LOGIC 06, то адресацию переменных будем составлять для программы ««DirectSoft32»». Адресация переменных представлена в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Адресация переменных

Название команды	Условное обозначение	Аппарат, формирующий сигнал	Адрес
Выбор режима работы: ручной или автоматический	PP	SA1	X0
Выбор резервного насоса: Н1 или Н2 или Н3	PH	SA2	X1
Пуск насоса №1	ПускН1	SB1	X2
Стоп насоса №1	СтопН1	SB2	X3
Пуск насоса №2	ПускН2	SB3	X4
Стоп насоса №2	СтопН2	SB4	X5
Пуск насоса №3	ПускН3	SB5	X6
Стоп насоса №3	СтопН3	SB6	X7
Кнопка открытия первой задвижки В1	ОВ1	SB7	X8
Кнопка закрытия первой задвижки В1	ЗВ1	SB8	X9
Кнопка открытия второй задвижки В2	ОВ2	SB9	X10
Кнопка закрытия второй задвижки В2	ЗВ2	SB10	X11
Кнопка открытия третьей задвижки В3	ОВ3	SB11	X12
Кнопка закрытия третьей задвижки В3	ЗВ3	SB12	X13
Кнопка открытия четвертой задвижки В4	ОВ4	SB13	X14
Кнопка закрытия четвертой задвижки В4	ЗВ4	SB14	X15

Продолжение таблицы 5.10

Сигнал с датчика давления жидкости P1	P1	-	X16
Сигнал с датчика давления жидкости P2	P2	-	X17
Работа насоса №1	РабН1	HL1	Y0
Останов или авария насоса №1	АврН1	HL2	Y1
Работа насоса №2	РабН2	HL3	Y2
Останов или авария насоса №2	АврН2	HL4	Y3
Работа насоса №3	РабН3	HL5	Y4
Останов или авария насоса №3	АврН3	HL6	Y5
Первая задвижка В1 в открытом состоянии	ОткрВ1	HL7	Y6
Вторая задвижка В2 в открытом состоянии	ОткрВ2	HL8	Y7
Третья задвижка В3 в открытом состоянии	ОткрВ3	HL9	Y8
Четвертая задвижка В4 в открытом состоянии	ОткрВ4	HL10	Y9
Промежуточные переменные для ОткрВ1	ОткрВ1.1 и ОткрВ1.2	-	С0 и С1
Промежуточные переменные для ОткрВ2	ОткрВ2.1 и ОткрВ2.2	-	С2 и С3
Промежуточные переменные для ОткрВ3	ОткрВ3.1 и ОткрВ3.2	-	С4 и С5
Промежуточные переменные для ОткрВ4	ОткрВ4.1 и ОткрВ4.2	-	С6 и С7
Промежуточная переменная	Н1	-	С8
Промежуточная переменная	Н2	-	С9
Промежуточная переменная	Н3	-	С10

Далее, с учетом логических уравнений, составленных разделом выше и адресации, разработаем уравнения для контроллера. Разработанные уравнения представлены в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Уравнения контроллера с учетом адресации

Команда	Уравнение
РабН1	$Y_0 = (X_2 + Y_0) \cdot \overline{X_3} \cdot \overline{X_0}$
РабН2	$Y_2 = (X_4 + Y_2) \cdot \overline{X_5} \cdot \overline{X_0}$
РабН3	$Y_4 = (X_6 + Y_4) \cdot \overline{X_7} \cdot \overline{X_0}$
ОткрВ1.1	$C_0 = (X_8 + C_0) \cdot \overline{X_9} \cdot \overline{X_0}$
ОткрВ2.1	$C_2 = (X_{10} + C_2) \cdot \overline{X_{11}} \cdot \overline{X_0}$
ОткрВ3.1	$C_4 = (X_{12} + C_4) \cdot \overline{X_{13}} \cdot \overline{X_0}$
ОткрВ4.1	$C_6 = (X_{14} + C_6) \cdot \overline{X_{15}} \cdot \overline{X_0}$
ОткрВ1.2	$C_1 = \overline{Y_1} \cdot X_0$
ОткрВ2.2	$C_3 = \overline{Y_3} \cdot X_0$
ОткрВ3.2	$C_5 = \overline{Y_5} \cdot X_0$
ОткрВ4.2	$C_7 = \overline{Y_7} \cdot X_0$
Н1	$C_8 = \overline{C_0} \cdot X_0$
Н2	$C_9 = \overline{C_2} \cdot X_0$
Н3	$C_{10} = \overline{C_4} \cdot X_0$
ОткрВ1	$Y_6 = C_0 + C_1$
ОткрВ2	$Y_7 = C_2 + C_3$
ОткрВ3	$Y_8 = C_4 + C_5$
ОткрВ4	$Y_9 = C_6 + C_7$

## 6 РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ

В соответствии с выбранной элементной базой и разработанной функциональной схемой системы автоматизации (рисунок 5.3) разработана электрическая принципиальная схема.

С помощью контактора КМ1 реализована нулевая защита двигателей, которая исключает самозапуск электродвигателей при исчезновении или резком снижении напряжения питающей сети. При повороте ключ-бирки SA3 подается питание на силовые цепи и на пульт управления, после ее отпущения происходит самоподхват. В случае нажатия кнопки SB15 силовые цепи разрываются.

Блок питания А1 с выходным напряжением 24 В подает питание на основные низковольтные элементы: пульт управления А2, программируемый логический контроллер А3 и датчики давления SP1, SP2.

Пульт управления А2 обеспечивает управление всем технологическим процессом в ручном и автоматическом режиме, а также индикацию сигналов готовности и аварийных режимов.

Автоматизация технологического процесса реализуется программируемым логическим контроллером А3. Входные сигналы поступают с пульта управления А2, датчиков давления жидкости SP1 и SP2, а выходные сигналы подаются на преобразователи частоты двигателей UZ1-UZ5 и индикацию пульта управления HL1-HL10.

В данной системе автоматизации для поддержания постоянства давления при изменяющемся расходе на станции горячей воды используются датчики SP1 и SP2. Выходы датчиков подключены к контроллеру А3 и блоку питания А1.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе был разработан частотно – регулируемый электропривод, который в водопроводных и в канализационных насосных станциях является ключевым объектом ресурсо- и энергосбережения.

По каталогу расходно-напорных характеристик был выбран центробежный насос 1Д200-90, нашего отечественного производства. Выбран асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором АИР355М2 мощностью 315 кВт. Двигатели унифицированной серии АИР являются самыми распространёнными в промышленности, за счет простоты конструкции и выгодной стоимости при высокой надежности в эксплуатации.

Далее, в процессе разработки был выбран преобразователь частоты фирмы «Schneider Electric» ATV650C31N4F. Данный преобразователь частоты отлично подходит под насосное оборудование. Дополнительным оборудованием к преобразователю частоты, были выбраны сетевой дроссель - ED3N – 0,023/630 AL, а также моторный дроссель - ED3S – 0,025/650 AL.

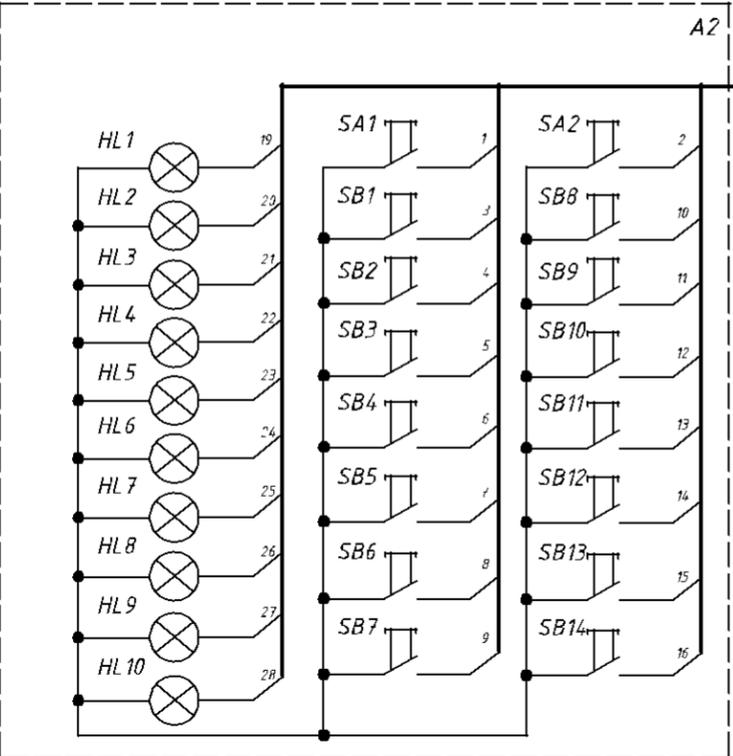
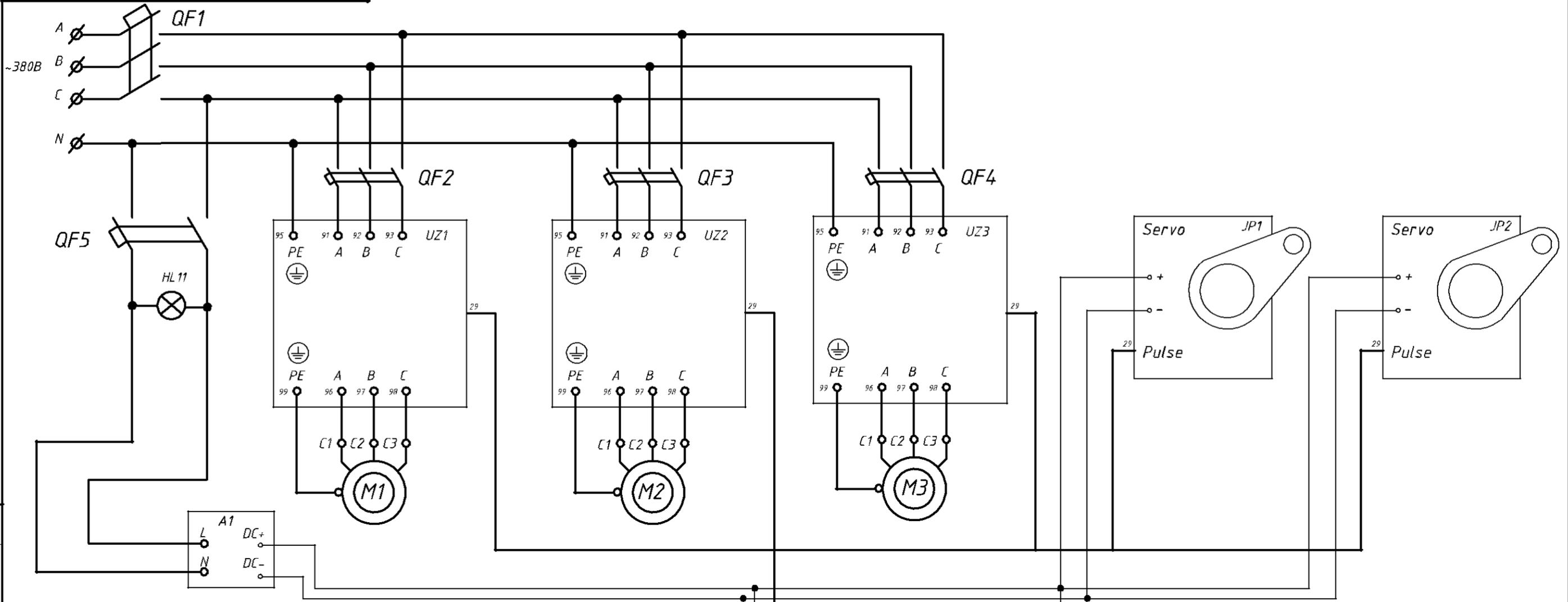
Помимо выбора силового электрооборудования, был произведен расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик. Также были построены искусственные механические и электромеханические характеристики по найденным скоростям.

Для разработки автоматизации насосного агрегата была выбрана насосная станция, представленная на рисунке 5.1. По описанию технологического процесса были разработаны: список сигналов системы автоматизации, пульт управления насосной станцией, алгоритм работы для ручного и автоматического управления, а также функциональная схема системы. Был произведен выбор элементной базы системы автоматизации, а также разработана программное обеспечение.

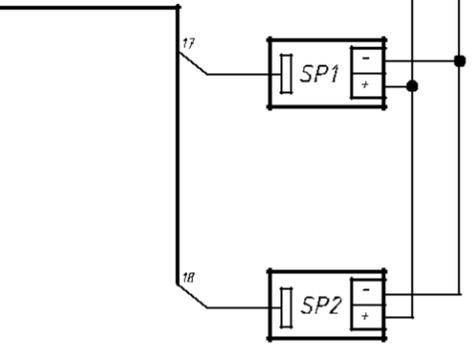
В заключении, исходя из требований к системе автоматизации, алгоритма работы автоматики отдельных механизмов и выбранной элементной базы была разработана принципиальная электрическая схема на листе формата А3.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.166.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						54
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		





A3		DO-06		DD1	
1	X0	PP			-24 V
2	X1	PH			+24 V
3	X2	ПУСКН1		РАБН1	Y0
4	X3	СТОПН1		АВРН1	Y1
5	X4	ПУСКН2		РАБН2	Y2
6	X5	СТОПН2		АВРН2	Y3
7	X6	ПУСКН3		РАБН3	Y4
8	X7	СТОПН3		АВРН3	Y5
9	X8	ОВ1		ОТКРВ1	Y6
10	X9	ЗВ1		ОТКРВ2	Y7
11	X10	ОВ2		ОТКРВ3	Y8
12	X11	ЗВ2		ОТКРВ4	Y9
13	X12	ОВ3			
14	X13	ЗВ3			
15	X14	ОВ4			
16	X15	ЗВ4			
17	X16	P1			
18	X17	P2			
				Modbus	



Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Гарипов		
Провер.		Бычков		
Т.контр.				
Н.контр.		Функ		
Утв.		Григорьев		

**П-476.309.05.166-33**

**Электропривод и автоматизация насосной станции**

**Схема принципиальная электрическая**

Лит.	Масса	Масштаб
		<b>1:1</b>
Лист 1	Листов 1	

ЮУрГУ  
Кафедра АЭП

Согласовано

Инв. № подл. Подл. и дата. Взам. инв. №

Поз. обознач.	Наименование	Кол.	Примеч.
M1...M7	Асинхронный двигатель АИР355М2	1	
UZ1...UZ3	Преобразователь частоты ATV650C31N4F	3	
UZ4...UZ5	Преобразователь частоты Danfoss	2	
DD1	Программируемый контроллер DL-06	1	
SP1...SP2	Датчик давления жидкости Nipress	2	
A1	Источник питания SE-1000-15	1	
SA1	Тумблер ASW-14-102 (ON-ON)	1	
SA2	Тумблер GPTS-6A (ON-ON-ON)	1	
SB1...SB14	Кнопка PBS18B	14	
HL1...HL5	Светодиод GNL-3014 HD	5	
HL6...HL10	Светодиод GNL-3014 GC	5	

Согласовано

Инв. N подл. Подл. и дата Взам. инв. N

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Гарипов		
Провер.		Бычков		
Т.контр.				
Н.контр.		Функ		
Утв.		Григорьев		

**П-4 76.309.05.166.ПЭ**

**Электропривод и автоматизация насосной станции**

Лит.	Лист	Листов
	1	1
ЮУрГУ Кафедра АЭП		