

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Асинхронный электропривод насосного агрегата для системы водоснабжения жилого дома</b>

УДК 62-83-523.628.12

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Николаев Илья Вадимович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.	д.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроэнергетика и электротехника	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., к.т.н.		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики  
Отделение Электроэнергетики и электротехники  
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
Профиль «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ОЭЭ ИШЭ

\_\_\_\_\_ Дементьев Ю.Н.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Б	Николаеву Илье Вадимовичу

Тема работы:

<b>Асинхронный электропривод насосного агрегата для системы водоснабжения жилого дома</b>
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	9.06.2018
--	-----------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования – система управления асинхронным электроприводом насоса. Требование – обеспечить систему водоснабжения жилого дома с автоматическим поддержанием давления на заданном уровне. Исходные данные к работе: жилое помещение – 9 этажный жилой дом 75 серии,</p>
--	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Исследование технологического процесса водоснабжения жилых домов;          Описание и классификация насосов;          Назначение насосных станций;          Требования к выбору электропривода;          Разработка электропривода и выбор оборудования;          Выбор системы автоматического управления электроприводом;          Построение характеристик асинхронного двигателя;          Разработка и моделирование программного обеспечения контроллера;          Детальное рассмотрение технологического процесса в программном обеспечении контроллера.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент          ресурсоэффективность и          ресурсосбережение</p>	<p>Калмыкова Екатерина Юрьевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Панин Владимир Филиппович</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Все разделы выпускной квалификационной работы написаны на русском языке.</p>	

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В.	К.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Николаев И.В.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Г4Б	Николаеву Илье Вадимовичу

<b>Инженерная школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение</b>	<b>Электроэнергетики и электротехники</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавриат</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Электроэнергетика и электротехника</b>

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

<i>1. Стоимость затрат технического проекта: на материальные расходы, заработную плату, страховые отчисления и накладные расходы</i>	<i>Определить объем материалов для технологического процесса производства электропривода центробежного насоса и сопутствующий расход материальных затрат. Расчёт заработной платы рассчитать исходя из тарифной ставки и коэффициентов, зависящих от различных условий: организация, регион. Страховые отчисления согласно Федеральному закону от 24.07.2009 г. №212-ФЗ. Прочие и накладные расходы определить исходя из суммы остальных статей расходов</i>
--	--

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>1. Оценка конкурентоспособности, анализ потенциальных рисков и разработка мер по управлению ими</i>	<i>Проанализировать рынок сбыта электроприводов центробежных насосов и возможные потенциальные риски, оценить будущие перспективы, принять необходимые меры</i>
<i>2. Формирование себестоимости технического проекта</i>	<i>В расчёте себестоимости электропривода использовать следующую группировку затрат по статьям: основные материалы, электроэнергия, полная заработная плата, отчисления на социальные нужды, накладные расходы, расходы на продажу</i>
<i>1. Ресурсоэффективность и ресурсосбережение технического проекта</i>	<i>Рассмотреть существующие варианты производства электроприводов центробежных насосов, предложить наиболее эффективный</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	17.03.2018г
---	-------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	К.Э.Н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5Г4Б	Николаев Илья Вадимович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Б	Николаеву Илье Вадимовичу

Инженерная школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>2. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <p>1.1. вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</p> <p>1.2. опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</p> <p>1.3. негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</p> <p>2.4. чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</p>	<p>Главным объектом исследования – электропривод центробежного насоса. Необходимо поддержание:</p> <p>1.1. Нормативных метеоусловий, уровней вибрации и шума;</p> <p>1.2. Нормативных мер обеспечения электро- и пожаробезопасности.</p> <p>1.3. Нормативных мер защиты окружающей среды от воздействия предприятия (механического цеха).</p> <p>1.4. Наиболее вероятные ЧС: загорания (пожары), электрический удар, например, при замыкании фазы питания на корпус электрической машины при нарушенном его заземлении.</p>
---	---

<p>3. Ознакомление и отбор законодательных и нормативных документов по теме и отбор их.</p>	<p>ГОСТ 12.0.003-74 «ОиВПФ»;</p> <p>ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;</p> <p>ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»;</p> <p>ГОСТ 12.1.01290 «Вибрационная безопасность»;</p> <p>ПУЭ, утвержденный министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.;</p> <p>№123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008;</p> <p>ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения эл. током».</p> <p>Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных отходов на территории муниципального образования «Город Томск» ».</p>
---	---

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <p>1.1. физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</p> <p>1.2. действие фактора на организм человека;</p> <p>1.3. приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</p> <p>1.4. предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</p>	<p>Наиболее значимые вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Шум</li> <li>2. Вибрации</li> <li>3. Недостаток естественного света</li> <li>4. Возможные ненормативные метеоусловия</li> </ol>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <p>2.1. механические опасности (источники, средства защиты);</p> <p>2.2. термические опасности (источники, средства защиты);</p> <p>2.3. Опасность электропоражения (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</p> <p>2.4. Опасность загораний (пожаров) (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</p>	<p>Наиболее вероятно воздействие на персонал следующих опасных факторов:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Опасность электропоражения;</li> <li>2. Пожаровзрывоопасность.</li> </ol>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <p>3.1. анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</p> <p>3.2. анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</p> <p>3.3. анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</p>	<p>По п.3.1.: разработать или описать систему обращения с выбросами механического цеха.</p> <p>По п.3.2.: разработать или описать систему обращения со сбросами.</p> <p>По п.3.3. описать систему обращения с твердыми отходами цеха в соответствии с постановлениями Правительства РФ от 03.09.2010 №681 и Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110(с изменениями от 24.12. 2014г.).</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <p>4.1. перечень возможных ЧС на объекте;</p> <p>4.2. выбор наиболее типичных ЧС;</p> <p>4.3. разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</p>	<p>Одни из наиболее вероятных ЧС: пожары, электропоражения.</p> <p>Разработать мероприятия по предотвращению пожаров, электропоражений и других ЧС и ликвидации их последствий.</p>
<p><b>Перечень графического и инструктивного материалов:</b></p>	
<p>Обязательные графические материалы к расчётам по заданию (обязательно для специалистов и магистров).</p>	

<p><b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b></p>	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин Владимир Филиппович	Д.Т.Н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Николаев Илья Вадимович		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 115 с., 54 рис., 30 табл., 29 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: электропривод, насос, асинхронный двигатель, переходные процессы, преобразователь частоты.

Объектом исследования является асинхронный электропривод насосного агрегата для водоснабжения жилых домов.

Цель работы – исследование и расчет системы асинхронного электропривода насоса с законом  $U_1/f_1^2 = \text{const}$  в системе водоснабжения.

В процессе исследования проводились расчет параметров двигателя, естественных статических характеристик, выбор преобразователя частоты, расчет искусственных статических характеристик электропривода со скалярным управлением при различных частотах питающего напряжения, исследование и анализ переходных характеристик электропривода при пуске под нагрузкой на разные скорости вращения.

Основные конструктивные, технологические и техникоэксплуатационные характеристики: надежность, энергосберегаемость, высокая эффективность, долговечность.

## Содержание

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	10
<b>1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ</b> .....	11
1.1 Типы насосов.....	11
1.2 Назначение насосных станций.....	21
1.3 Описание технологического процесса .....	25
1.4 Требования к выбору электропривода.....	29
<b>2. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА</b> .....	33
2.1. Выбор и расчет мощности электродвигателя насосов.....	33
2.2. Выбор преобразователя частоты.....	36
2.3. Выбор и обоснование датчика давления.....	41
2.4. Выбор контакторов и автоматов защиты.....	43
2.5. Выбор источников питания.....	45
2.6. Выбор кабелей .....	45
2.7. Выбор клеммных зажимов .....	46
2.8. Выбор и компоновка шкафа электроавтоматики .....	46
2.9. Выбор и обоснование контроллера.....	48
<b>3. РАСЧЁТ СТАТИСТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛ</b> <b>Я РАЗОМКНУТОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА</b> .....	51
3.1. Расчёт естественных характеристик системы регулируемого электропривода.....	51
3.2 Расчет искусственных (регулируемых) характеристик системы.....	58
регулируемого электропривода.....	58
3.3. Расчет потерь в асинхронном двигателе при работе на искусственных характеристиках .....	65
3.4. Расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска, наброса и сброса нагрузки на валу двигателя.....	66
<b>4. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА</b> .....	70
4.1. Разработка системы скалярного управления насоса в программной среде MatLab Simulink .....	70
4.2. Разработка алгоритма функционирования системы управления .....	78
4.3. Поэтапная реализация технологического процесса в программе Logo! Soft Comfort v7.0 .....	80
<b>5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ</b> .....	82
5.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	84



5.3. Определение трудоёмкости работ.....	85
5.4. Разработка графика проведения научного исследования.....	86
5.5. Смета научно-технического исследования (НТИ).....	88
5.6. Формирование сметы затрат научно-исследовательского проекта.....	92
<b>6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....</b>	<b>94</b>
6.1 Анализ вредных факторов .....	94
6.1.1 Шум.....	95
6.1.2 Вибрация.....	96
6.1.3 Недостаток естественного света.....	97
6.1.4 Микроклимат.....	100
6.2. Анализ опасных факторов.....	101
6.2.1 Электропоражение .....	101
6.2.2 Загорание (пожар).....	103
6.3 Защита окружающей среды .....	104
6.4 Предотвращение ЧС и устранение их последствий.....	106
6.4.1 Пожар (загорание) – как источник ЧС.....	106
6.4.2 Электропоражение как источник ЧС.....	107
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>109</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>110</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А.....</b>	<b>112</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....</b>	<b>113</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В .....</b>	<b>115</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Среди многих областей современной техники, устремлённых на повышение уровня жизни людей, благоустройства населенных мест и развития промышленности, водоснабжение занимает большое и почетное место. Обеспечение населения чистой, доброкачественной водой имеет значительное гигиеническое значение, так как предохраняет людей от разнообразного рода заболеваний. Одной из неотъемлемых частей для обеспечения водой потребителей являются насосы, ведь именно благодаря им, возможно водоснабжение и канализация муниципальных, промышленных сооружений и жилых домов, существование внутренних и внешних систем теплоснабжения, а также систем вентиляции и кондиционирования воздуха. В настоящее время в связи с общим ростом объемов потребляемой воды и недостаточностью в ряде районов местных природных источников воды все чаще возникает необходимость комплексного решения водохозяйственных проблем для наиболее рационального и экономичного обеспечения водой всех водопотребителей.

Но на настоящий момент энергосбережение стало одним из важнейших приоритетных направлений технической политики во всех странах мира. Энергосбережение в любой области сводится к уменьшению лишних потерь. Рассмотрение структуры потерь в сфере производства, распределения и потребления электроэнергии показывает, что основная часть потерь (до 90%) достается сфере потребления.

Из спектра разнообразных решений, прилагаемых для энергосбережения, одно из наиболее действенных и быстроокупаемых, требующих относительно низких капиталовложений – внедрение высокотехнологичной и наукоемкой энергосберегающей техники – частотно-регулируемых асинхронных приводов.

# 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ

## 1.1 Типы насосов

Насосы являются одним из видов гидравлических машин, преобразующих механическую энергию привода в механическую энергию движущейся жидкости. Насосы поднимают жидкость на определенную высоту, перемещают ее под напором на необходимое расстояние в горизонтальной плоскости, принуждают циркулировать ее в замкнутой гидравлической системе или создают и поддерживают в ней определенное давление.[4]

Неполная классификация насосов по принципу действия и конструкции приведена в приложении А.

По характеру силового воздействия, а следовательно, и по виду рабочей камеры различают два основных типа насосов динамические и объемные. В динамическом насосе силовое воздействие на жидкость осуществляется в проточной камере, постоянно сообщаемой со входом и выходом насоса. В объемном насосе силовое воздействие на жидкость происходит в рабочей камере, периодически изменяющей свой объем и попеременно сообщаемой со входом и выходом насоса.

К динамическим насосам относятся:

- Лопастные: а) центробежные; б) осевые;
- Электромагнитные;
- Насосы трения: а) Вихревые; б) Шнековые; в) Дисковые; г) Струйные

К объемным насосам относятся:

- Возвратно-поступательные: а) Поршневые и плунжерные;  
б) Диафрагменные;
- Крыльчатые;
- Роторные: а) Роторно-вращательные; б) Роторно-поступательные

По некоторым общим конструктивным признакам динамические и объемные насосы делят на следующие виды:

- по направлению оси расположения, вращения или движения рабочих органов: а) Горизонтальный; б) Вертикальный;
- по расположению рабочих органов и конструкций опор: а) Консольный; б) Моноблочный; в) С выносными опорами; г) С внутренними опорами;
- по расположению входа в насос: а) С боковым входом; б) С осевым входом; в) Двустороннего входа;
- по числу ступеней и потоков: а) Одноступенчатый; б) Двухступенчатый; в) Многоступенчатый; г) Однопоточный; д) Двухпоточный;
- е) много-поточный;
- по требованиям эксплуатации: а) Обратимый; б) Реверсивный; в) Регулируемый; г) Дозировочный.

Агрегат, состоящий из насоса (или нескольких насосов) и приводящего двигателя, соединенных друг с другом, называется насосным агрегатом.

В зависимости от рода двигателя различают следующие насосные агрегаты: 1) Электронасосный; 2) Турбонасосный; 3) Дизель-насосный; 4) Мотонасосный; 5) Гидроприводной; 6) Паровой; 7) Пневматический.

Насосный агрегат с трубопроводом и комплектующим оборудованием, смонтированным по определенной схеме, обеспечивающей работу насоса, называется насосной установкой.[6]

Наибольшее распространение в системах водоснабжения и водоотведения получили центробежные насосы, которые в соответствии с классификацией относятся к динамическим лопастным, поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать именно этот тип насосов.

### **Центробежные насосы**

Центробежные насосы являются наиболее распространёнными и предназначаются для подачи холодной или горячей ( $t^{\circ} > 60^{\circ}\text{C}$ ) воды, вязких или агрессивных жидкостей (кислот и щелочей), сточных вод, смесей воды с грунтом, золой и шлаком, торфом, раздробленным каменным углём и т.п. Их

действие основано на передаче кинетической энергии от вращающегося рабочего колеса тем частицам жидкости, которые находятся между его лопастями. Под влиянием возникающей при этом центробежной силы частицы подаваемой среды из рабочего колеса перемещаются в корпус насоса и далее, а на их место под действием давления воздуха поступают новые частицы, обеспечивая непрерывную работу насоса. Схема работы центробежного насоса приведена на рисунке 1.

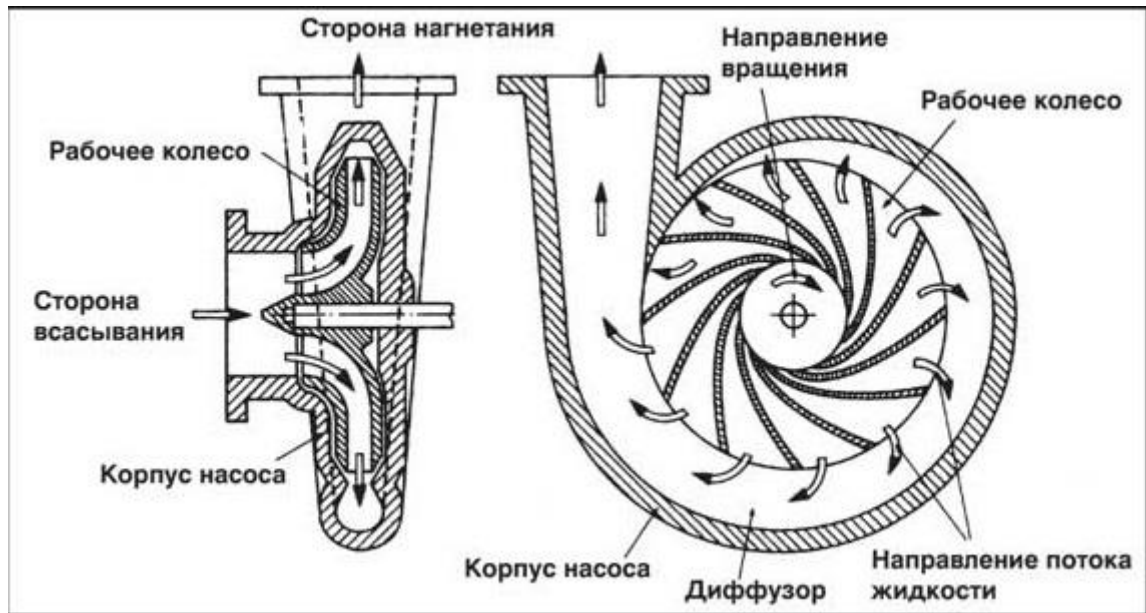


Рисунок 1 – Схема работы центробежного насоса

Рабочие колёса насоса могут быть не только с односторонним подводом жидкости, но и с двухсторонним, что позволяет почти полностью уравнивать давление жидкости на внешние боковые поверхности колеса. Одной из важных практических характеристик рабочих колёс центробежных и некоторых др. насосов является коэффициент быстроходности  $n_s$  - число оборотов в 1 мин такого рабочего колеса. Классификация рабочих колёс центробежных насосов по быстроходности представлена в таблице 1, в которой каждый тип колеса характеризуется отношением внешнего диаметра  $D_{вн}$  к диаметру его входного отверстия  $D_{отв}$ . [2]

Таблица 1 - Классификация рабочих колёс центробежных насосов по коэффициенту быстроходности

Тип колеса	$n_s$ , об/мин	$D_{вн}/D_{отв}$
Тихоходное	50-80	3-2,5
Нормальной быстроходности	80-150	2
Быстроходное	150-350	1,8-1,4

Значения  $n_s < 50$  имеют вихревые насосы, а область  $n_s = 400-1500$  об/мин соответствует осевым, а также диагональным насосам, занимающим промежуточное положение между центробежными и осевыми.

Преимущества центробежных насосов:

- высокий КПД;
- высокая надежность при эксплуатации;
- отличные напорно-расходные характеристики (при больших подачах сохраняется высокий напор);
- возможность параллельного либо последовательного соединения нескольких насосов для работы на один трубопровод;
- плавное протекание всех переходных процессов в случае изменения режима работы гидросистемы;
- плавное регулирование мощности позволяет запускать насос при закрытой выходной задвижке (либо при закрытом обратном клапане);
- способность к «самовсасыванию»;
- способность перекачивать загрязненные жидкости;
- возможность плавного регулирования основных характеристик путем изменения частоты электрического тока, используемого для питания двигателя;
- возможность подачи больших объемов жидкости;

- невысокая стоимость насоса благодаря использованию в конструкции агрегата сравнительно недорогих конструкционных материалов: стали, чугуна, полимеров;
- простота эксплуатации и технического обслуживания.

Однако центробежные насосы обладают и определенными небольшими недостатками:

- требуют заливки жидкости перед запуском;
- имеют «склонность» к кавитации;
- низкий КПД при перекачке вязких жидкостей;
- существенное понижение КПД при малой подаче жидкости, а также большом значении напора.

Для создания больших напоров применяют многоступенчатые насосы, в которых жидкость проходит последовательно несколько рабочих колёс, получая от каждого из них соответствующую энергию. Важнейшей особенностью центробежных насосов является непосредственная зависимость напора, а также мощности, КПД и допустимой высоты всасывания от подачи, которая для каждого типа насос выражается соответствующими характеристиками КПД центробежного насоса при определенном режиме его работы достигает максимального значения, а затем с увеличением подачи снижается.

Основными параметрами центробежных насосов, определяющими область их применения, являются напор, напорная характеристика, подача, мощность, коэффициент полезного действия, допустимая вакуумметрическая высота всасывания.

- Подача – объем жидкости, подаваемый насосом в единицу времени, выражается в м<sup>3</sup>/с, л/с.
- Напор – приращение удельной энергии жидкости на участке от входа в насос до выхода из него, выражается в МПа.

Различают требуемый напор насоса и напор, развиваемый работающим насосом.

Требуемый напор, значение которого необходимо для выбора насоса, определяют по формуле:

$$H = H_{\Gamma} + h_{\text{в}} + h_{\text{н}};$$

Где  $H_{\Gamma}$  – геометрическая высота подъема – разность геодезических отметок уровней жидкости в верхнем и нижнем бассейнах, м;

$h_{\text{в}}$  – потери напора во всасывающем трубопроводе, м;

$h_{\text{н}}$  – потери напора в напорном трубопроводе, м;

Схемы к определению требуемого напора приведены на рисунке 2 а и б.

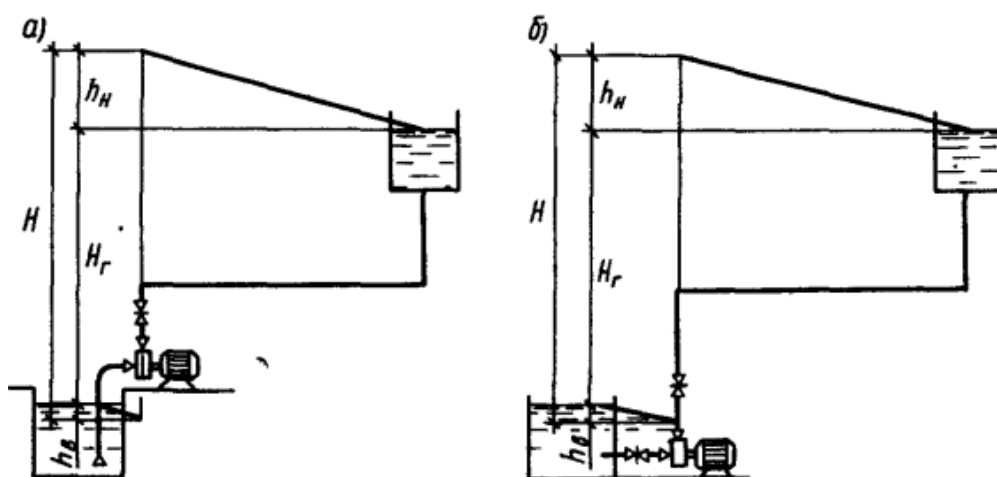


Рисунок 2 – а) схема при расположении оси насоса выше уровня воды в нижнем бассейне; б) схема при установке насоса “под залив”

Напор, развиваемый работающим насосом, определяют по показаниям манометра на напорном и всасывающем трубопроводах, для каждого из типов расположения насосов формулы будут различаться.

Напорная характеристика – это зависимость напора центробежного насоса от его объемной подачи. Напорная характеристика зависит от конструкции насоса, скорости вращения рабочего колеса и вязкости перекачиваемой жидкости. Напорная характеристика насоса дает представление о возможностях данного насоса. Пример напорной характеристики для центробежного насоса ЗК-6 приведена на рисунке 3.[1]



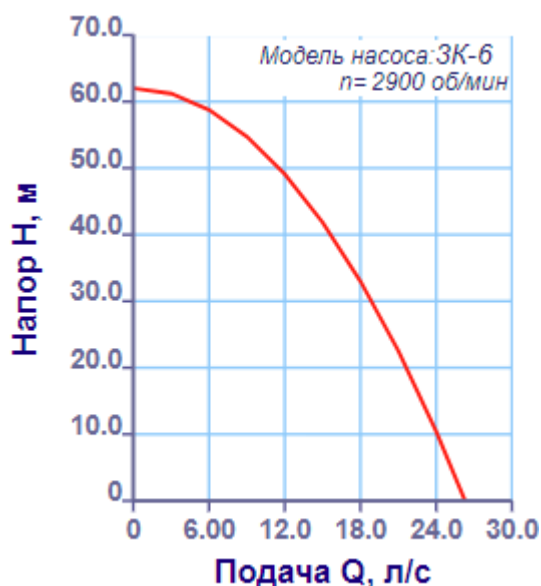


Рисунок 3 - Напорная характеристика центробежного насоса

Полезная мощность насоса – это энергия, отдаваемая жидкости за единицу времени при работе насоса. Полезная мощность обозначается  $N_{\text{п}}$ , измеряется в СИ в Ваттах.

Полезную мощность можно определить по формуле:

$$N_{\text{п}} = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H ;$$

где  $\rho$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $g = 9,8$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$Q$  - объемная подача, м<sup>3</sup>/с;

Мощность насоса с учетом потерь называют мощностью на валу и определяют по формуле:

$$N_{\text{в}} = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot H}{\eta} ;$$

Мощность на валу является важным параметром, дающим представление об энергопотреблении работающего насоса.

Характер зависимости мощности на валу от подачи определяется не только конструкцией насоса и скоростью вращения его рабочего колеса, но и плотностью перекачиваемой жидкости, причем чем больше плотность, тем больше мощность на валу при прочих одинаковых условиях.

Типичная для центробежного насоса зависимость мощности на валу от подачи представлена на рисунке 4.

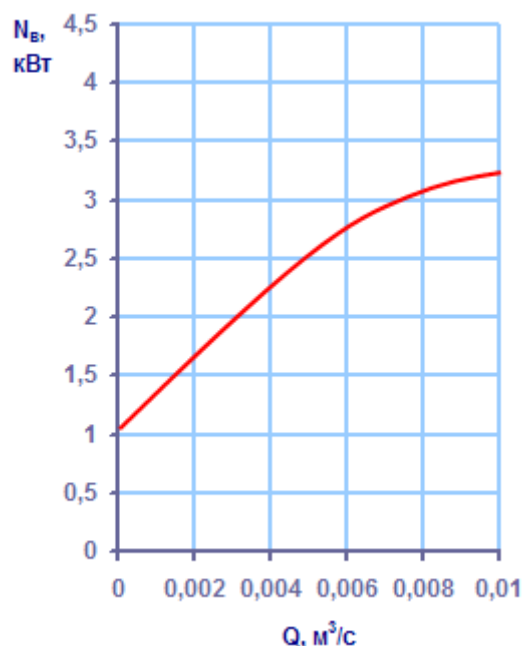


Рисунок 4 – Зависимость мощности на валу от подачи

Коэффициент полезного действия насоса  $\eta$  учитывает все потери энергии в насосе – гидравлические  $\eta_{г}$ , объемные  $\eta_{об}$ , и механические  $\eta_{мех}$ .

Коэффициент полезного действия работающего насоса определяют по формуле:

$$\eta = \frac{N_{II}}{N_B};$$

Полезная энергия меньше, чем потребляемая, так как в процессе преобразования энергии, осуществляемого центробежным насосом, часть энергии неизбежно теряется. КПД насоса оценивает его энергетическое совершенство. Чем больше КПД насоса, тем эффективней он использует потребляемую энергию.[8]

Зависимость общего КПД от подачи принято изображать в виде графика. При максимальном КПД насос имеет оптимальную подачу и наиболее эффективно использует потребляемую энергию. Однако на практике сложно эксплуатировать насос при оптимальной подаче, поэтому выделяют рабочий интервал. Режим работы насоса считается рациональным, если его подача попадает в этот интервал. Рабочий интервал выбирается таким образом, чтобы

минимальный КПД этого интервала был на 7% меньше, чем максимальный. Схематичный пример такой зависимости приведён на рисунке 5.

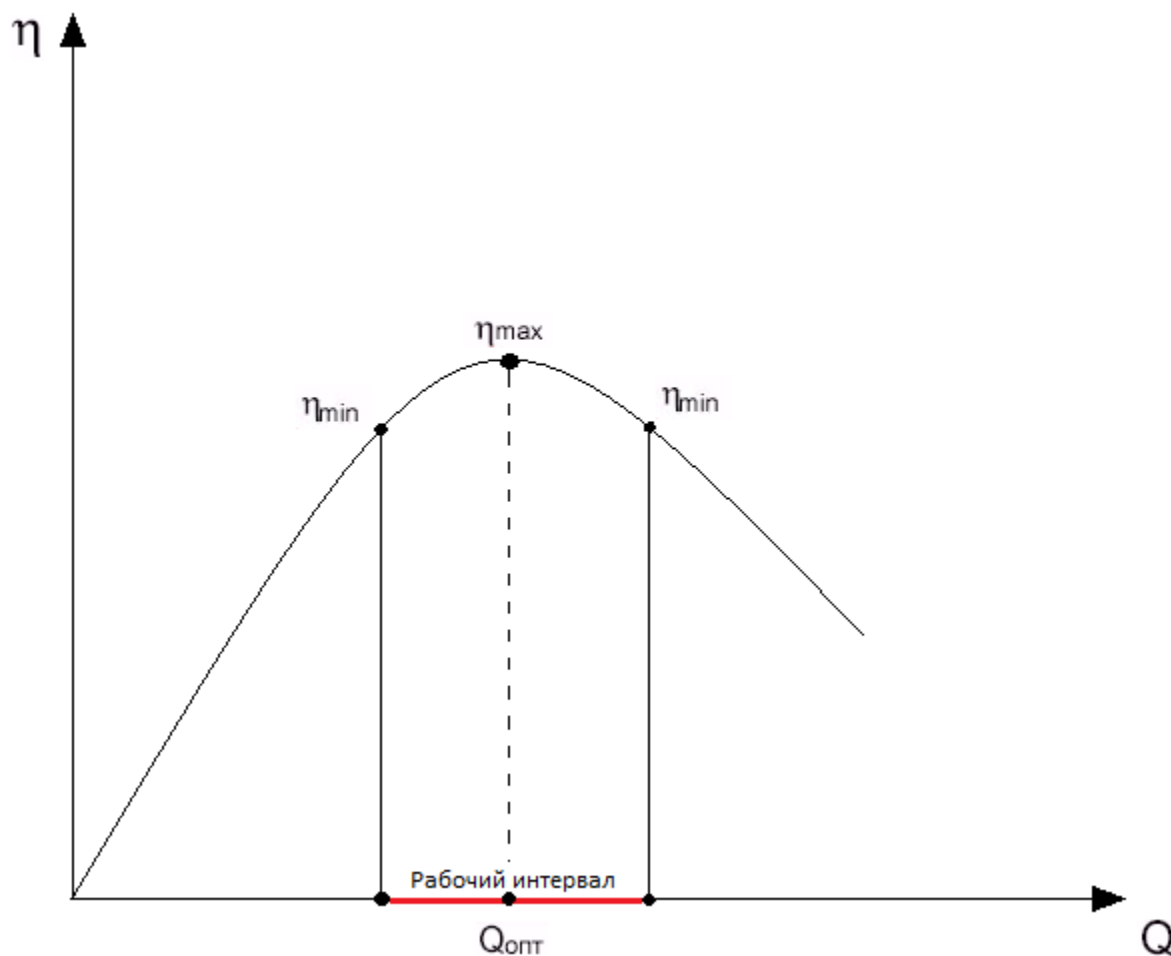


Рисунок 5 – Зависимость КПД от подачи

Высотой всасывания называют расстояние по вертикали от уровня жидкости в расходном резервуаре до всасывающего патрубка насоса. На рисунке 6 наглядно показана высота всасывания.[5]

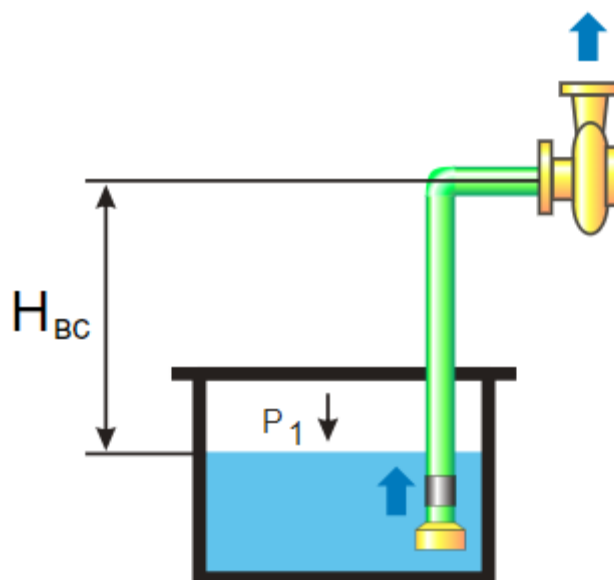


Рисунок 6 – Схематичное изображение расположения насоса

Допустимая высота всасывания – это максимальное расстояние по вертикали от уровня жидкости в расходном резервуаре до всасывающего патрубка насоса, при котором не возникает кавитации.

Кавитация - крайне нежелательное явление, заключающееся в образовании пузырьков из пара перекачиваемой жидкости, поступающей в насос, и резком схлопывании этих пузырьков внутри насоса. Пузырьки образуются, если давление в потоке жидкости снижается до давления ее насыщенного пара. Обычно во всасывающем трубопроводе давление снижается от расходного резервуара до насоса. Поэтому минимальное давление (максимальное разрежение) действует перед насосом или на входе в рабочее колесо насоса. Именно там и проявляется кавитация. Это явление сопровождается вибрацией в трубопроводной системе и насосе и ведет к быстрому разрушению рабочих органов насоса.

Характеристиками насоса являются графически выраженные зависимости в координатах  $Q-N$ ,  $Q-N$ ,  $Q-\eta$ ,  $Q-\Delta h_{дон}$  соответственно напора  $H$ , мощности  $N$ , коэффициента полезного действия  $\eta$  и допустимого кавитационного запаса  $\Delta h_{дон}$  от подачи  $Q$ . На рисунке 7 показаны характеристики центробежного насоса Д500-65. Сплошные линии

соответствуют максимальному диаметру рабочего колеса, пунктирные – обточенному до минимальных размеров.

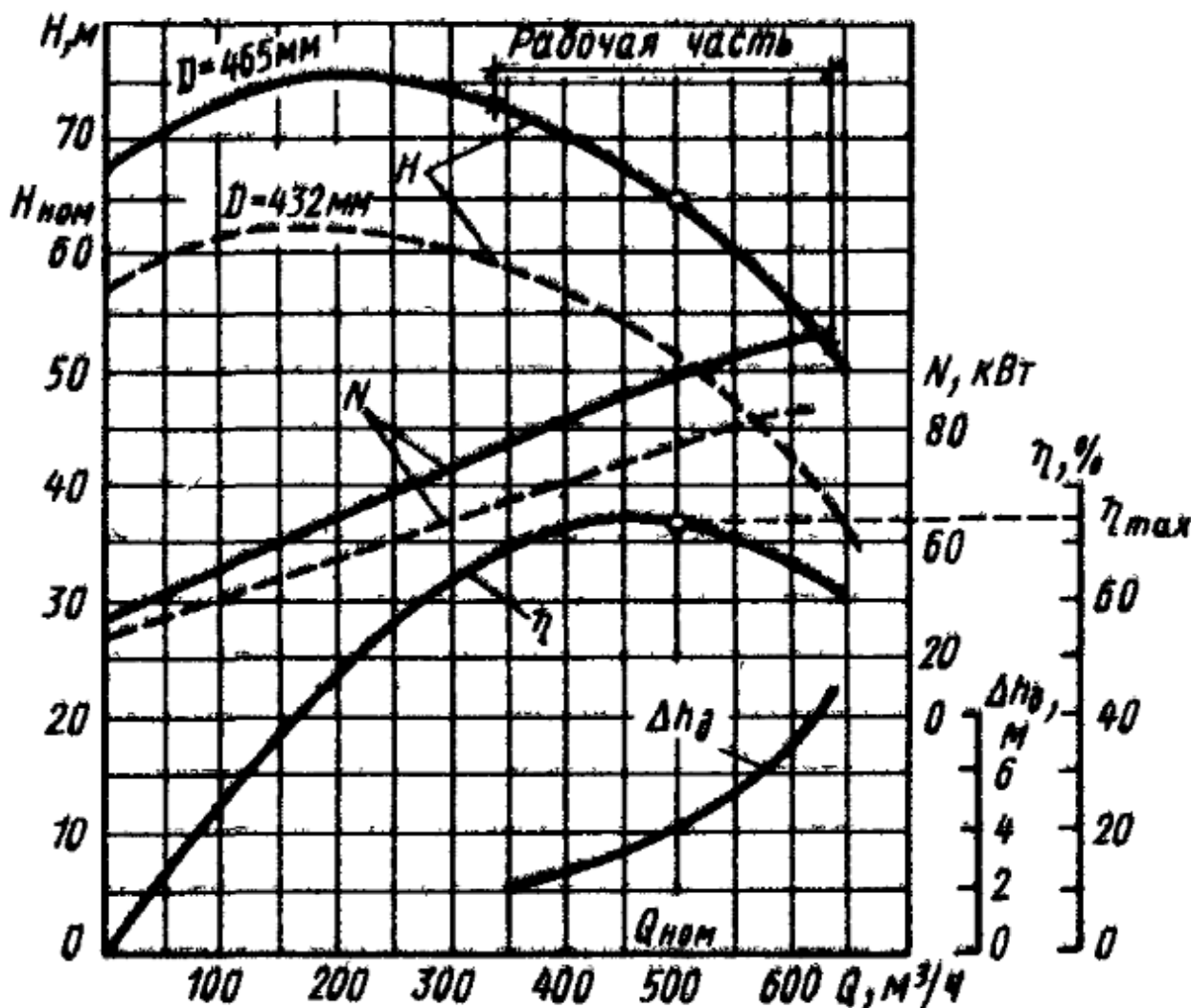


Рисунок 7 – Характеристики центробежного насоса Д500-65

Графические характеристики насоса дают наглядное представление об изменении основных его параметров, однако не позволяют использовать электронно-вычислительную технику для анализа работы насосов.[7]

## 1.2 Назначение насосных станций

Насосная станция – это комплекс гидротехнических сооружений и оборудования, обеспечивающий забор воды из источников и транспортировку ее с помощью насосных агрегатов к напорному бассейну или месту потребления.

Насосная установка – это система оборудования обеспечивающий необходимый режим работы насосов одного или нескольких насосных агрегатов.

Насосный агрегат – это собранные в единый узел насос, двигатель и устройство для передачи мощности от двигателя к насосу. В состав сооружений насосной станции в общем случае входят:

- водозаборные сооружения, предназначенные для забора воды из поверхностного или подземного водоисточника;
- водоподводящие каналы или трубопроводы, транспортирующие воду от водозабора к аванкамере насосной станции;
- аванкамера, сопрягающая водоотводящее сооружение с водоприемными камерами, из которых вода поступает во всасывающие трубопроводы;
- всасывающие трубопроводы, по которым воду подают к всасывающим патрубкам насосов;
- здание насосной станции, в котором размещено все необходимое гидромеханическое, энергетическое и прочее оборудование, обеспечивающее подачу воды в напорные трубопроводы;
- напорные трубопроводы, по которым вода транспортируется к водовыпускному сооружению насосной станции;
- водовыпускное сооружение, обеспечивающее плавный выпуск воды из напорного трубопровода в напорный бассейн или отводящий канал и предотвращающее обратный ток воды при прекращении ее подачи.

Тип и число основных и вспомогательных насосов, состав помещений и набор вспомогательных насосов, конструктивные особенности и предъявляемые к насосной станции технологические требования зависят от ее назначения. В зависимости от перекачиваемой жидкости насосные станции подразделяются на водопроводные и станции систем водоотведения (канализационные).

По своему назначению и расположению в общей схеме водоснабжения водопроводные насосные станции подразделяются на станции 1 подъема, 2 и последующих подъемов, повысительные и циркуляционные, схема компоновки насосных станций различного назначения приведена на рисунке 8.

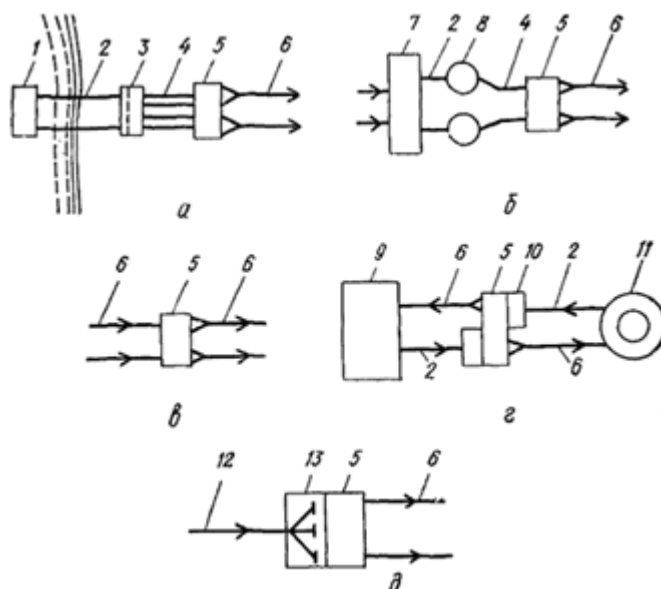


Рисунок 8 – Схема компоновки насосных станций

- а - I подъема из открытого водоемника; б - II подъема;  
 в - повысительной; г - циркуляционной; д - водоотведения; 1 - водозабор;  
 2 - самотечные водоводы; 3 - водоприемно-сеточный колодец; 4 -  
 всасывающие трубы; 5 - насосная станция; 6 - напорные водоводы; 7 -  
 очистные сооружения;  
 8 - резервуары чистой воды; 9 - потребители технической воды;  
 10 - приемные камеры; 11 - охлаждающие или очистные сооружения;  
 12- самотечный коллектор; 13 - помещение решеток

Насосные станции 1 подъема забирают воду из источника и подают ее на очистные сооружения или, если не требуется отчистка воды, в аккумулирующие емкости (резервуары чистой воды, водонапорные башни, гидропневматические баки), а в некоторых случаях непосредственно в распределительную сеть. Характерной особенностью насосных станций 1 подъема является более или менее равномерная подача в течение суток.

Насосные станции 2 подъема подают воду потребителям из резервуаров чистой воды, которые позволяют регулировать подачу. Подача насосных станций 2 подъема в течение суток неравномерна. Ее по возможности приближают к графику водопотребления.

Повысительные насосные станции (станции подкачки) предназначены для повышения напора на участке сети или в водоводе. Они забирают воду не из резервуара, а из трубопроводов и поэтому не могут самостоятельно регулировать подачу.

Циркуляционные насосные станции входят в замкнутые системы технического водоснабжения промышленных предприятий и тепловых электростанций.

По степени обеспеченности подачи воды насосные станции подразделяются на три категории:

1. Категория допускает перерыв в подаче воды только на время (не более 10 мин), необходимое для выключения поврежденных и включения резервных элементов (оборудования, арматуры, трубопроводов), и снижение подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды не более 30 % расчетного расхода и на производственные нужды до предела, установленного аварийным графиком работы предприятий, при длительности снижения не более 3 суток.
2. Категория допускает перерыв в подаче для проведения ремонта не более, чем на 6 часов, а на канализационных станциях — на время, обусловленное аккумулярующей вместимостью подводящих сетей, и соответствующее снижение подачи не более, чем на 10 суток.
3. Категория допускает перерыв в подаче не более, чем на 24 ч и соответствующее снижение подачи не более, чем на 15 суток.

К 1 категории относятся насосные станции, обслуживающие технический водопровод и системы водоотведения специальных производств ; системы водоснабжения и водоотведения населенных пунктов с числом жителей свыше 50000 человек( ориентировочно, максимальное суточное



водопотребление свыше 40000 м<sup>3</sup>); подающие воду непосредственно в сеть противопожарного и объединенного хозяйственно-противопожарного водопроводов.

Ко 2 категории относятся насосные станции, обслуживающие водопровод населенных пунктов с числом жителей от 5000 до 50 000 чел., если подача воды на пожаротушение возможна и при временной остановке этих станций; насосные станции систем водоотведения населенных пунктов с тем же числом жителей, если аккумулирующая вместимость подводящих сетей обеспечивает прием стоков на время отключения станции при ремонте; насосные станции водопроводов населенных пунктов с числом жителей до 600 человек (ориентировочно, максимальное суточное водопотребление не более 3000 м<sup>3</sup>) и других объектов, указанных в нормах.

К 3 категории относятся насосные станции систем водоотведения, обслуживающие населенные пункты с числом жителей до 500 чел., и насосные станции поливочных водопроводов.

Выполняя одну из основных функций, насосы входят в состав основного оборудования насосных станций или установок.

Наибольшее распространение в системах водоснабжения и водоотведения получили центробежные насосы, которые в соответствии с классификацией относятся к динамическим лопастным, поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать именно этот тип насосов.[3]

### **1.3 Описание технологического процесса**

Система водоподачи состоит из насоса 1, приводимого в движение электродвигателем 2. Насосы и двигатели размещены в здании насосной станции. Преобразователь частоты 3 управляет электродвигателем. Давление в водопроводной сети измеряется датчиком давления 4, сигнал обратной связи с которого поступает на ПЧ. Заданное значение давления устанавливается на пульте управления ПЧ.

Схема технологического процесса представлена на рисунке 9.

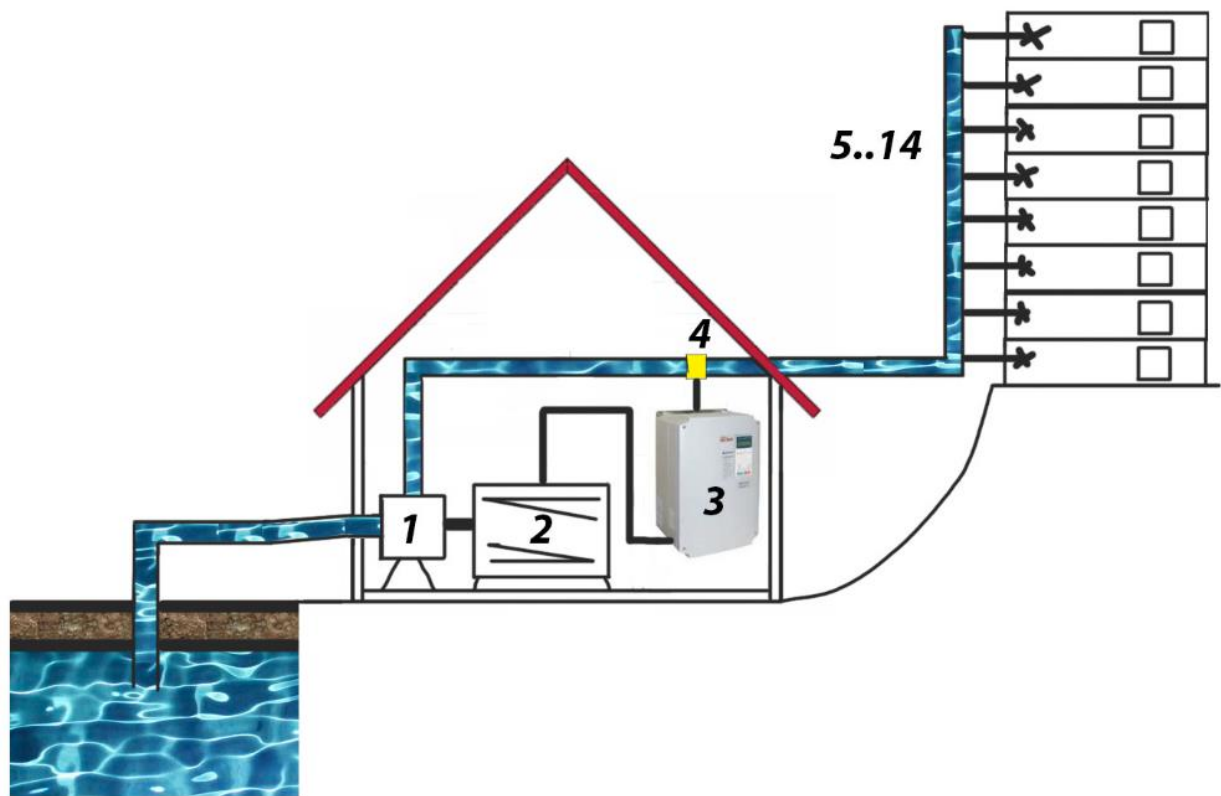


Рисунок 9 – Схема технологического процесса водоснабжения жилых домов

В течение суток расход воды  $Q$  значительно изменяется (краны 5...14 открываются и закрываются). Максимальный (пиковый) расход воды приходится на утренние и вечерние часы, в то время как ночью расход практически нулевой и днем также небольшой. Если действующее давление воды в водопроводной сети при каком-то расходе отличается от заданного, то преобразователь частоты плавно изменяет скорость вращения двигателя и насоса так, чтобы при другом расходе (потреблении) обеспечить давление в сети.

Таким образом, независимо от величины потребления воды, давление в кранах поддерживается постоянным. Преимущества использования ПЧ при поддержании заданного давления:

- снижение потребления электроэнергии;
- исключение гидроударов в сети и как следствие снижение количества аварий на трубопроводах,

- устранение ударных нагрузок на электрическую сеть при пуске электропривода.

Примерный суточный график водопотребления представлен на рисунке 10.

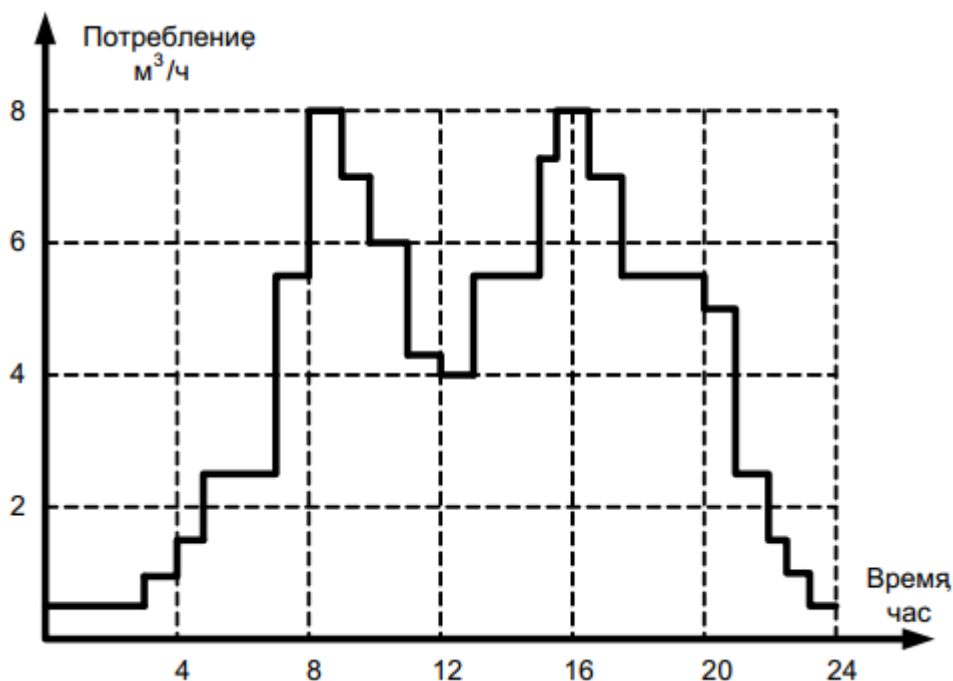


Рисунок 10 - Суточный график водопотребления

Плавное регулирование производительности применяется, как правило, только для одного из имеющихся в составе установки насосных агрегатов. При недостатке диапазона регулирования (например, мощность регулируемого двигателя увеличивается до максимальной, но это так не приводит к нужному увеличению давления) происходит изменение числа включенных в работу насосных агрегатов (подключается дополнительный насосный агрегат, а мощность регулируемого – начинает вновь плавно увеличиваться).

Применение регулируемого асинхронного электропривода для управления насосными агрегатами может обеспечить:

- мягкий пуск электродвигателя, отсутствие механических нагрузок на двигатель и бросков тока в сети;
- отсутствие гидравлических ударов;

- рациональное использование потребляемой насосным агрегатом мощности во всем диапазоне регулирования;
- обеспечение коэффициента мощности двигателя насоса на значении, близком к 1
- снижение величины шума при пуске и работе;
- обеспечение автономной и неопасной работы, интеграция в АСУ ТП.

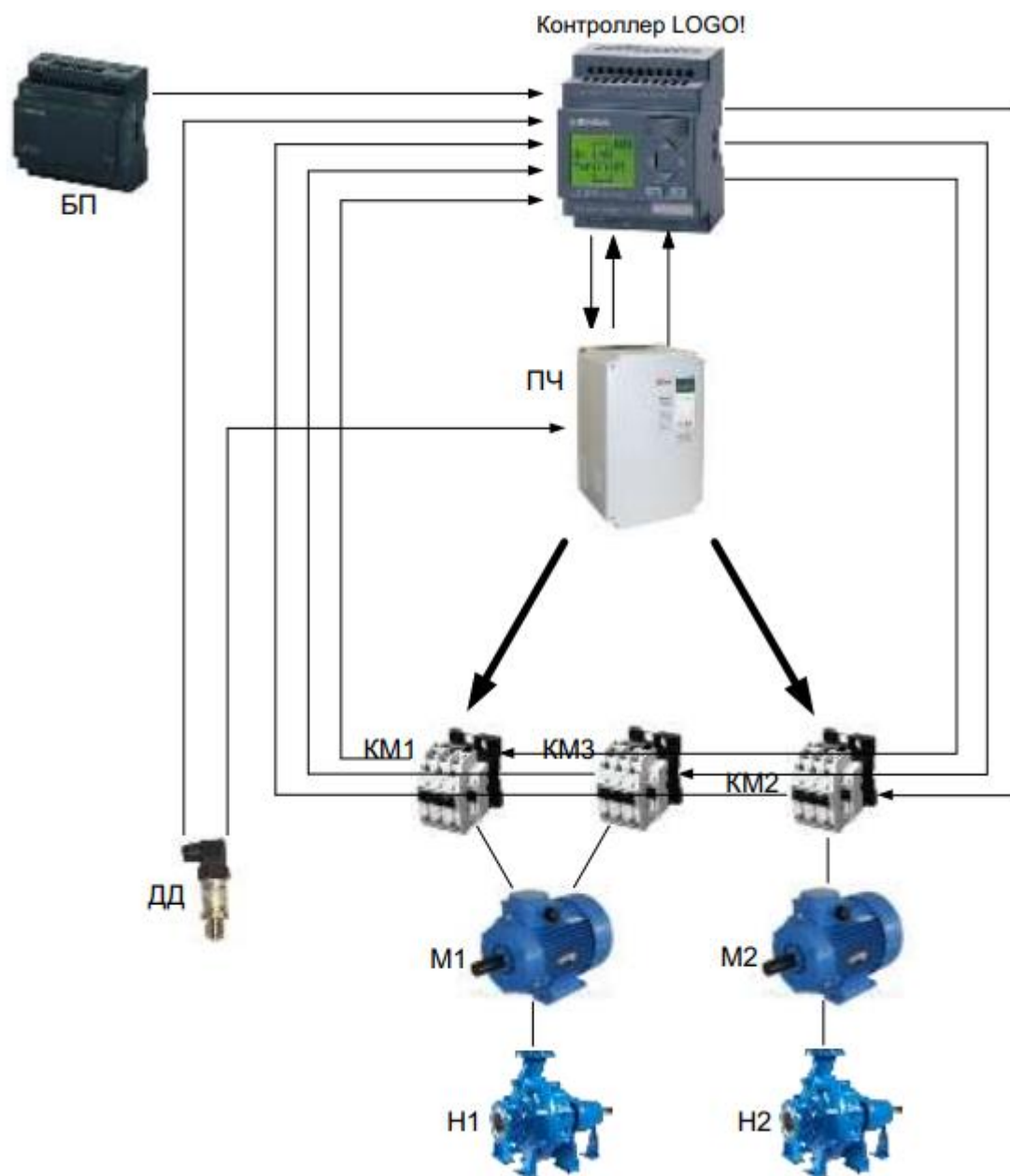


Рисунок 11 - Автоматизированная система управления технологическим процессом

БП – Блок питания; ПЧ – Преобразователь частоты; КМ – Контактор; М – Двигатель; Н – Насос; ДД – Датчик давления.

По функциональному направлению управление технологическим процессом разделяется на три уровня:

1. Верхний уровень – автоматизированная рабочая точка оператора на базе пульта управления насосами (ПУН)
2. . Средний уровень – обработка информации от измерительной системы нижнего уровня и создание управляющего сигнала для исполнительных приводов
3. Нижний уровень – исполнительный электропривод, входящий в промышленное оборудование.

На верхнем уровне система управления выполняет технологическое задание на движение рабочих органов отдельной технической установки или единой технологической системы.

Средний уровень обеспечивает программное движение исполнительных приводов, движение под траектории в пространстве управляемых переменных.

На нижнем уровне определяется технологическое оборудование, непосредственно участвующее в технологическом процессе, пространство управляемых и регулируемых переменных технологического оборудования.

#### **1.4 Требования к выбору электропривода**

Насосные установки широко применяются на электромашиностроительных предприятиях для перекачивания жидких сред, а также технологической и охлаждающей воды, а также для обеспечения водой жилых домов. Сюда относятся насосы для перекачки охлаждающей эмульсии в металлообработке, насосы в системе водоснабжения и канализации, специальные насосы для химических сред в гальванических цехах, насосы для пропиточных составов, лакокрасочных материалов и т.п.

Наиболее широкое распространение получили установки с центробежными насосами. В спиральном корпусе насоса помещается рабочее

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

Перед пуском центробежный насос нужно заполнить жидкостью. Насос может находиться как ниже, так и выше уровня жидкости. Если он расположен ниже уровня, то для его заливки достаточно открыть вентиль задвижки. Если же насос находится выше уровня перекачиваемой жидкости, то для заливки требуется создать разрежение внутри корпуса при помощи специального вакуум-насоса, в качестве которых обычно применяют поршневые насосы. После заливки насоса может быть включен приводной двигатель. Применяют три способа пуска:

1. Пуск при закрытой напорной задвижке, при котором плавно повышается давление в напорном трубопроводе и исключается Пуск при закрытой напорной задвижке, при котором плавно повышается давление в напорном трубопроводе и исключается гидравлический удар в системе. От двигателя не требуется повышенный пусковой момент, так как пуск происходит практически вхолостую, но дополнительно тратится время на последующее открытие задвижки.
2. Пуск при открытой напорной задвижке удобен, если насос расположен ниже уровня жидкости в заборном резервуаре и имеется обратный клапан. В этом случае не тратится время на открытие задвижки, и общее время агрегата меньше, хотя пуск самого двигателя более длителен.
3. Пуск с одновременным включением привода открывания напорной задвижки насоса можно рассматривать как частные случаи первого и

второго способов в зависимости от соотношения времени открывания задвижки и пуска насоса.

Насосы относятся к числу механизмов с продолжительным режимом работы и постоянной нагрузкой, поэтому их электроприводы, как правило, нереверсивные. При отсутствии электрического регулирования скорости в насосных агрегатах небольшой мощности обычно применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, питаемые от сети 380 В. Для привода насосов мощностью свыше 100кВт устанавливают асинхронные и синхронные двигатели на 6 и 10 кВ с прямым пуском, т.е. с включением на полное напряжение сети.

Центробежные насосы в большинстве случаев выполняются быстроходными, поэтому их приводные двигатели имеют высокую угловую скорость ( $\omega_0 = 150 - 300$  рад/с) и соединяются с валом насоса непосредственно.

Для центробежного насоса особо важен правильный выбор угловой скорости двигателя, т.к. производительность насоса (Q), создаваемый им напор (H), момент (M) и мощность (P) на валу двигателя зависят от угловой скорости  $\omega$ . Для одного и того же насоса значения  $Q_1, H_1, M_1$  и  $P_1$  при скорости  $\omega_1$  связаны со значениями  $Q_2, H_2, M_2$  и  $P_2$  при скорости  $\omega_2$  соотношениями:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{M_1}{M_2} = \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2}; \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{\omega_1^3}{\omega_2^3};$$

Для того, чтобы определить параметры H и Q насоса, необходимо знать Q – H - характеристику магистрали, на которую будет работать насос. Пересечение характеристик насоса и магистрали дает значение H и Q, т.е. определяет режим работы механизма при различных скоростях его рабочего колеса. Полный напор в системе складывается из статического HС и динамического HДИН напоров, при этом вторая составляющая напора пропорциональна квадрату скорости либо квадрату производительности насоса.

В системе с преобладанием статического напора при незначительном изменении скорости двигателя от  $\omega_1 = \omega_{\text{ном}}$  до  $\omega_3$  характеристика насоса не пересекается с характеристикой системы. Это значит, что насос перестает подавать жидкость в систему. Такое положение может иметь место при асинхронном приводе насоса, когда снижение напряжения сети ( $U_c$ ) обуславливает уменьшение скорости двигателя. Что может вызвать остановку насоса.

Если в системе преобладает динамический напор, то снижение  $U_c$  не приводит к остановке асинхронного двигателя, однако производительность насоса уменьшается. При синхронном приводе насоса снижение  $U_c$  не изменяет скорости двигателя, и подача жидкости в систему не прекращается, но оно вызывает увеличение угла отставания  $\theta$  ротора от статора и уменьшение  $M_{\text{макс}}$  синхронного двигателя; при значительном снижении  $U_c$  двигатель выпадает из синхронизма и останавливается.



## 2. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

### 2.1. Выбор и расчет мощности электродвигателя насосов

В качестве жилого помещения выбран 9 этажный дом 75 серии. Спроектированное водоснабжение дома состоит из насоса, электродвигателя, датчика давления и преобразователя частоты.

Исходя из найденных данных в сети Интернет, примерная необходимая производительность насоса в таком доме составляет 0,028 м<sup>3</sup>, напор 45 м, плотность воды составляет примерно 1000 кг/м<sup>3</sup>. Далее принимаем, КПД насоса 0,68, коэффициент запаса 1,05.

По формуле определяем расчётную мощность, для дальнейшего выбора двигателя:

$$P_{\text{дв}} = K_3 \cdot P_{\text{нас}} = K_3 \cdot \frac{Q \cdot P_H}{\eta_{\text{на}}} \cdot 10^{-3} = K_3 \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_{\text{на}}} \cdot 10^{-3} = 1,05 \cdot \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,028 \cdot 45}{0,68} = 19,08 \text{ кВт}$$

Где,

$K_3$  – коэффициент запаса;

$P_{\text{нас}}$  – мощность насоса (гидравлическая), кВт;

$P_H$  – давление на напоре насоса, Па;

$Q_{\text{на}}$  – производительность насоса, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – полный напор жидкости, м;

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

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

$\eta_{\text{на}}$  – КПД насоса;

Из каталога [9] выбран двигатель АИР 180 S2 имеющий параметры, представленные в табл.2

Таблица 2 – Технические характеристики выбранного двигателя АИР 180 S2

Заданные величины	Условное обозначение	Единица измерения	Численное значение
Фазное напряжение	$U_{\phi}$	В	220
Линейное напряжение	$U_{\text{л}}$	В	380
Мощность двигателя	$P_{\text{дв.}}$	Вт	22000
КПД	$\eta_n$	%	91
Синхронная частота вращения	$n_c$	об/мин	3000
Коэффициент мощности	$\cos \varphi_n$	о.е.	0,87
Номинальное скольжение	$S_n$	%	2,333
Кратность пускового тока	$k_i$	о.е.	7
Кратность пускового момента	$k_n$	о.е.	2,2
Кратность максимального момента	$k_{\text{max}}$	о.е.	2,9
Кратность минимального момента	$k_{\text{min}}$	о.е.	2
Коэффициент загрузки двигателя	$P_{\text{ж}}$	о.е.	0,75
Число пар полюсов	$p$	-	1
Частота питающей сети	$f$	Гц	50
Число фаз двигателя	$m$	-	3
Момент инерции ротора	$J$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,062

Технические данные двигателя основного исполнения, степень защиты IP 54, класс нагревостойкости изоляции «F».



Рисунок 12 – Внешний вид двигателя АИР 180 S2

Из каталога [9] выбирается насос, ЦМЛ 100/208-22/2 (рис.13), по номинальной мощности электродвигателя АИР 180 S2. Центробежный моноблочный насос ЦМЛ 100/208-22/2 имеет следующие параметры (табл.3).

Таблица 3 – Технические характеристики насоса ЦМЛ 100/208-22/2

Тип насоса	Подача, м <sup>3</sup> / ч,	Напор, м	Макс. потребляемая мощность насоса, кВт	Частота вращения, (об / мин)
ЦМЛ 100/208- 22/2	100	50	22	2900



Рис. 13 – Внешний вид насосного агрегата ЦМЛ 100/208-22/2

Если для снабжения необходимой подачи или произведении потребного напора одного насоса мало, применяют параллельное или последовательное объединение насосов.

Рабочие характеристики для насосных агрегатов серии ЦМЛ 100/ представлены на рисунке 14.

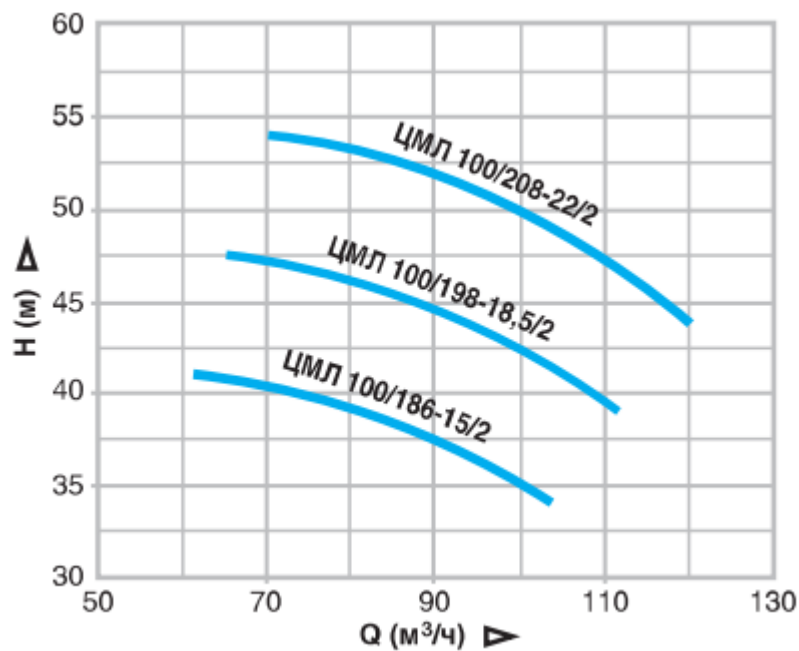


Рис. 14 – Рабочие характеристики насосных агрегатов серии ЦМЛ 100/

## 2.2. Выбор преобразователя частоты

С точки зрения энергетики главным параметром электропривода является его мощность. Поэтому при выборе преобразователя частоты в первую очередь нужно определить требования к его нагрузочной способности. Вторым значительным параметром преобразователя являются требования к напряжению питающей сети. Как правило, преобразователи питаются от трехфазной сети переменного тока напряжением 380 В, разброс +10% / - 15%, что полностью соответствует требованиям российских стандартов к качеству электроснабжения.

В наше время существует крупное количество различных преобразователей частоты. Ведущие позиции среди них занимают преобразователи таких фирм, как «ВЕСПЕР», «Siemens», «ABB», «Danfoss», «Omron», «Mitsubishi», «Schneider Electric», «Delta Electronics».

Выбираем ПЧ фирмы «ВЕСПЕР» (рис.15) при условии, что  $I_{н\ пч} \geq 1,25I_{н\ дв}$  и  $P_{н\ пч} \geq 1,25P_{н\ дв}$  - насосный преобразователь частоты ЕІ-Р7012-030Н.



Рисунок 15 – Преобразователь частоты

Модель новейшего поколения преобразователей частоты насосной серии. Применяется для управления приводами с переменной нагрузкой насосного типа. Свежую модель выгодно отличают расширенные функциональные возможности, минимальные массогабаритные характеристики, увеличенный диапазон мощностей.

- Диапазон мощностей 7,5 кВт – 370 кВт. Возможность управления группой электродвигателей от одного преобразователя;
- Встроенный ПИД-регулятор. Управление по вольт-частотной характеристике  $U / F$  ;
- Аналоговые и цифровые входы/выходы для регулирования и дистанционного управления;
- Управление и диагностика по линии RS-485/RS-232;
- Питание 380 В, 50 Гц.

Специальная серия преобразователей разработана для управления устройствами, предназначенными для транспортировки жидкостей и газов. Эти механизмы подразделяются на три группы:

- Насосы;
- Вентиляторы;
- Компрессоры.

Преобразователи серии EI-P7012 ориентированы на наиболее распространенную в настоящее время группу насосов, вентиляторов и компрессоров центробежного типа, которые имеют так называемую вентиляторную нагрузку. Отличительными особенностями преобразователей этой серии, которые определены типом нагрузки, являются:

- скалярное управление с фиксированным соотношением между напряжением питания и частотой питающего напряжения ( $U/f$ );
- отсутствие встроенных и дополнительных тормозных устройств;
- пониженная перегрузочная способность по моменту в пределах 15% - 20%.

Некоторое упрощение функций преобразователя позволило снизить стоимость, упростить обслуживание и предложить его для массового внедрения на многих объектах в различных отраслях.

Преобразователи серии EI-P7012 рекомендуется применять для регулирования подачи и поддержания заданного напора жидкости, давления или разряжения газа, температуры газа и т.п. на нефте- и газоперекачивающих станциях, насосных водопроводных станциях, в котельных, на станциях водоочистки, в центральных тепловых пунктах, в установках главного проветривания шахт и т.п. Применение EI-P7012 позволяет существенно уменьшить потребление электроэнергии и энергоресурсов, продлить срок службы оборудования, упростить техническое обслуживание, снизить число аварийных ситуаций.

При решении перечисленных задач преобразователь может работать как в ручном, так и в автоматическом режиме. В обоих режимах предусмотрено местное или дистанционное управление.

В ручном режиме управление осуществляется оператором с местного или дистанционного пульта без обратной связи. Для удобства пользователя в преобразователе имеется возможность подсоединения внешнего задающего аналогового устройства – потенциометра. Слежение за параметрами рабочего

процесса (подача, напор, давление, разряжение) совершается оператором по измерительным приборам. Точность поддержания скорости в ручном режиме составляет  $\pm 2\% - 3\%$ . Диапазон управления скоростью равен 1:20.

Предпочтительнее с точки зрения качества управления параметрами рабочего процесса использовать автоматический режим с обратной связью по регулируемому параметру. Для измерения параметров процесса можно использовать все популярные датчики физических величин аналогового типа. Выходной токовый сигнал датчика может быть от 4 мА до 20 мА, сигнал по напряжению – от 0В до 10В. При совместном соглашении преобразователи могут поставляться компанией в наборе с датчиками.

В автоматическом режиме с обратной связью в преобразователе реализуется ПИД-закон регулирования. Для оперативной настройки параметров регулятора под требуемый технологический процесс Вы имеете возможность управлять коэффициентами обратной связи. Использование ПИД-регулятора позволяет поддерживать заданные параметры практически без ошибки. При выборе ЧП для мощных вентиляторов, дымососов, компрессоров с большими инерционными массами необходимо обратить внимание на возможность ограничения пусковых токов. Ограничение пусковых токов требуется также для исключения гидроударов в трубопроводах. В преобразователе для исключения ударных нагрузок на двигатель и механическую долю привода имеется функция мягкого пуска. Можно выставить время разгона или торможения электродвигателя автономно друг от друга в пределах от 0,1 с до 3600 с.

Важное значение для электропривода в целом имеет тип защиты от аварийных режимов. Преобразователь EI-P7012 обеспечивает полную защиту электродвигателя. EI-P7012 имеют два тип исполнения - IP20 и IP54.

Проверка адекватности выбора ПЧ из следующих условий:

- Рассчитывается полная пусковая мощность ПЧ:

$$\left[ \frac{k \cdot n}{9550 \cdot \eta \cdot \cos \varphi} \cdot \left( M_{CT} + \frac{J}{9,55} \cdot \frac{n}{t_A} \right) \right] \leq 1,5 \cdot P_{H \text{ пч.}}$$

$$\left[ \frac{0,95 \cdot 2940}{9,55 \cdot 0,9 \cdot 0,9} \cdot \left( 71,463 + \frac{0,062}{9,55} \cdot \frac{2940}{10} \right) \right] = 26,492 \leq 1,5 \cdot P_{H \text{ пч.}} ;$$

где  $k$  – коэффициент искажения тока, связанный с алгоритмом формирования синусоиды тока с помощью ШИМ( рис. 16) (широтно-импульсной модуляции напряжения на двигателе). Этот коэффициент может принимать значения от 0,95 до 1,05 и не имеет размерности. В первом приближении можно принять его равным 1;

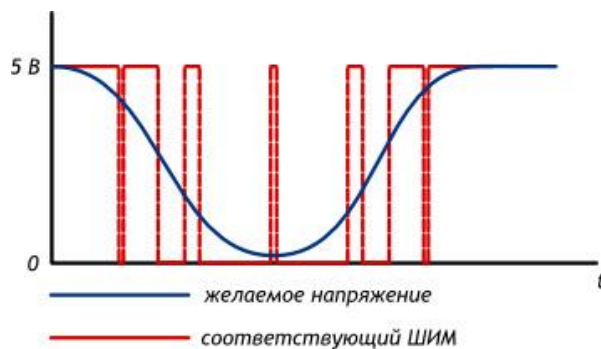


Рисунок 16 – Пример работы ШИМ

$t_A$  – время, сек, в течение которого требуется разогнать двигатель до частоты вращения;

$M_{CT}$  – статический момент нагрузки на валу двигателя, Н·м, чаще всего это номинальный момент двигателя, взятый из спецификации на двигатель.

- Рассчитывается ток  $I_{ПOTP}$ , который потребляет двигатель при работе от преобразователя частоты при напряжении  $U$  сети 220/380В:

$$I_{ПOTP} = \frac{k \cdot n \cdot M_{cm}}{9,55 \cdot \eta \cdot \cos \varphi \cdot U \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,95 \cdot 2940 \cdot 71,463}{9,55 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} = 39,203A < 48A ,$$

где  $M$  – момент нагрузки на валу двигателя, Н·м, чаще всего это номинальный момент двигателя, взятый из спецификации на двигатель;

$U$  – линейное напряжение на обмотках двигателя, В.

- Рассчитывается ток  $I_{ПOTP.P.}$ , который потребляет двигатель при линейном разгоне:



$$I_{\text{ПОТР.Р.}} = \frac{k \cdot n}{9,55 \cdot \eta \cdot \cos \varphi \cdot U \cdot \sqrt{3}} \cdot (M_{\text{ст}} + M_{\text{дин}})$$

$$I_{\text{ПОТР.Р.}} = \frac{0,95 \cdot 2940}{9,55 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} \cdot (71,463 + 1,909) = 40,25 \text{ A} < 48 \text{ A},$$

$$M_{\text{ст}} = \frac{P_H \cdot 9,55}{n} = \frac{22 \cdot 9,55}{2940} = 71,463 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{дин}} = \frac{J}{9,55} \cdot \frac{n}{t} = \frac{0,062}{9,55} \cdot \frac{2940}{10} = 1,909 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Где,  $M_{\text{ст}}$  – статический момент нагрузки на валу двигателя, Н·м, чаще всего это номинальный момент двигателя, взятый из спецификации на двигатель;

$M_{\text{дин}}$  – динамический момент нагрузки, возникающий при разгоне инерционной нагрузки, Н·м.

- Рассчитывается полная потребляемая двигателем мощность в номинальном установившемся режиме

$$S_{\text{ПОТР}} = \frac{k \cdot P}{\eta \cdot \cos \varphi} = \frac{0,95 \cdot 22}{0,9 \cdot 0,9} = 25,802 \text{ кВА} < 30 \text{ кВА},$$

где  $P$  – номинальная мощность двигателя, кВт.

Из получившихся условий можно сделать вывод, что ПЧ выбран правильно.

### 2.3. Выбор и обоснование датчика давления

Устройства получения информации о состоянии технологического процесса предназначены для сбора и преобразования информации без изменения ее содержания о контролируемых и управляемых параметрах ТП. Входом устройств являются естественные или унифицированные сигналы, выходом – соответствующие значения унифицированных сигналов.

К устройствам для получения информации о состоянии процесса, образующим канал сбора и преобразования информации, причисляют чувствительные элементы или собственно датчики.

Датчики физических величин воспринимают контролируемый параметр и преобразуют его в величину, удобную для передачи подканалам связи или дальнейшего преобразования.

Основными характеристиками измерительных устройств для получения информации о состоянии ТП являются: входная величина, воспринимаемая и преобразуемая датчиком; выходная величина, используемая для передачи информации; статическая и динамическая характеристики датчика; порог чувствительности; основная и дополнительные погрешности.

В данном ТП в качестве измерительного механизма используется датчик давления подачи воды (ДД).

Входная величина  $Q$ , поступающая на вход датчика ДД, относится к классу входных величин датчика, характеризующих протекание процесса. Выходная величина, используемая для передачи информации, моделируется по амплитуде. Динамическая характеристика датчика определяет поведение датчика при изменении входной величины и определяется внутренней структурой датчика и его элементов.

Точность измерений давления воды характеризуют следующие факторы:

- порог восприимчивости датчика – минимальное изменение входной величины, вызывающее изменение выходного сигнала;
- главная погрешность датчика – максимальная разность между получаемой в нормальных эксплуатационных ситуациях величиной выходного сигнала и его номинальным значением, устанавливаемая по статической характеристике для данной входной величины;
- добавочные погрешности датчика – погрешности, вызываемые изменениями наружных условий по сравнению с нормальными условиями (температурная погрешность и др.).

Датчики, обеспечивающие управление технологическими переменными и управляющими воздействиями:

В комплект поставки преобразователя частоты входит датчик давления ОТ1 (МН-2) представленный на рисунке 17.



Рисунок 17 – Датчик давления

Технические характеристики датчика давления ОТ-1 (МН-2) представлены в таблице 4.

Таблица 4- Технические характеристики датчика давления ОТ-1 (МН-2)

Название	ОТ-1 (МН-2)
Тип	Тензорезистивный
Диапазоны давления	0...6, 0...10, 0...16, 0...25 бар
Погрешность	1 %
Выходной сигнал	4-20 мА (двухпроводное подключение)
Питание	10...30 В постоянного тока
Присоединение	G1/4
$T_{раб}$ измеряемой среды	-40 °С...+125 °С
$T_{раб}$ окружающей среды	-40 °С...+100 °С
Защита от ударных нагрузок	500g (механический удар)
Защита от вибрации	20g (вибрация в условиях резонанса)
Материалы, контактирующие с измеряемой средой	Нержавеющая сталь с добавками CrNi
Пылевлагозащита	IP67
Масса	70

#### 2.4. Выбор контакторов и автоматов защиты

По номинальному току и мощности был выбран контактор [10] фирмы Danfoss серии CI 45 (рис. 18), технические характеристики которого находятся в таблице 5.



Рисунок 18 – Контактор CI 45

Таблица 5 – Технические характеристики контактора Danfoss серии CI 45

Характеристики	Величина
Тип	CI 45
АС-1 нагрузочный, $I_{th}$ , открытый	80 А
АС-1 нагрузочный, $I_{the}$ , закрытый	80 А
АС-3 нагрузочный, $I_e$	45 А
АС-3 силовой, $U_e$ , 380 – 500В	22 кВт
Главные контакты	3
Максимальное количество навесных вспомогательных контактов	4

Также был выбран автоматический выключатель [11], который предназначен для защиты проводов, кабелей, электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок. Для этого было выполнено следующее:

$$I_{расч} \geq I_{дл}, I_{дл} \geq I_{н.ЭД} = 39,203 \text{ А};$$

$$I_{кз} \geq 1,5 \cdot I_{пуск} \text{ (для одного ЭП)};$$

$$I_{кз} \geq 1,5 \cdot I_{кр} = 1,5 \cdot 267,682 = 401,523 \text{ А};$$

$$I_{кр} = I_n = 267,682 \text{ А} - \text{пусковой ток.}$$

Выбран автоматический выключатель типа ВА14-26 (рис.19) с

$$I_{ном} = 64 \text{ А}, I_{н.расц.} = 50 \text{ А}, I_{кз} = 10 \cdot I_{н.расц.} = 10 \cdot 50 = 500 \text{ А.}$$



Рисунок 19 – Автоматический выключатель ВА 14-26

Выбор плавких предохранителей:

Выбраны плавкие предохранители исходя из условий:

$$I_{BC} \geq I_{н.ЭД}$$

$$I_{BC} \geq I_{н.ЭД}$$

Выбран предохранитель типа ПН2-100 с параметрами, приведенными в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры предохранителя типа ПН2-10

Тип	I <sub>ном</sub> , А	
	Предохранителя	Плавкой вставки
ПН2-100	100	40

### 2.5. Выбор источников питания

Для питания логического модуля совместно с модулем расширения выбираем блок питания фирмы Siemens серии LOGO! Power = 24В/ 4А, 90 Вт 6EP1332-1SH51 (рис. 20).



Рисунок 20 - Блок питания LOGO! Power =24В/4А

Технические данные блока питания LOGO! Power 24В/4А приведены в приложении Б.

### 2.6. Выбор кабелей

Соединение оборудования в шкафах производится одножильным проводом марки ПВ-1, имеющим однопроволочную и многопроволочную медную жилу с поливинилхлоридной изоляцией различного цвета. Выбирается провод с однопроволочной жилой сечением 1,5 мм<sup>2</sup> для подключения оборудования цепи управления; провод сечением 2,5 мм<sup>2</sup>, для подключения преобразователя частоты и контакторов. Для питания

преобразователей частоты и электродвигателей (а также насосов) выбран по условию  $I_{каб} \geq I_{дон}$ ; 42 ≥ 40 силовой кабель ВВГнг 5х25.

## 2.7. Выбор клеммных зажимов

Клеммники широко применяются как в бытовой электропроводке, так и в промышленном монтаже в местах, требующих повышенной надежности и виброустойчивости. В данной работе выбраны клеммники фирмы «WAGO» (Германия). Фирма «WAGO» – мировой лидер в производстве клемм и разъемов, с использованием пружинной технологии соединения. В настоящее время на российском рынке присутствует широкая номенклатура продукции «WAGO».

Выбраны клеммы для установки на DIN-рельс с зажимом CAGE CLAMP фирмы WAGO (рис.21) с боковым подключением:



Рисунок 21 - Клемма фирмы WAGO

## 2.8. Выбор и компоновка шкафа электроавтоматики

Перечень блоков компоновки шкафа приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Перечень блоков компоновки шкафа

Обозначение	Расшифровка
ПЧ	Преобразователь частоты
БПМК	Блок питания LOGO!POWER
МК	Базовый модуль LOGO!Basic
QF1 – QF3	Автоматический выключатель 175x112,5x112,5
K1	Контактор 1
K2	Контактор 2
K3	Контактор 3

Выбираем один настенный шкаф Hyperline TWM-0945-GR-RAL9004  
Шкаф настенный, 501x600x450, со стеклянной дверью (рис.22).



Рисунок 22 - Внешний вид шкафа электроавтоматики

Так как из-за массогабаритных показателей проблемно ставить ПЧ в шкаф электроавтоматики, то ПЧ ставим в отдельный шкаф. И выбираем Hyperline TTC2268-GS-RAL9004, 1166x600x800 (рис.23).



Рисунок 23 - Внешний вид шкафа Hyperline для ПЧ

## 2.9. Выбор и обоснование контроллера

В данной работе мы выберем контроллер из линейки Siemens Logo, т.к. на сегодняшний день эти контроллеры считаются наиболее рентабельными и обладают очень хорошим программным обеспечением.

Логические модули LOGO! являются компактными функционально оконченными универсальными изделиями. Они предназначены для построения простейших механизмов автоматике с логическим обработыванием информации. Алгоритм функционирования модулей заносится программой, составленной из набора встроенных функций. Программирование модулей LOGO! Basic может производиться с их клавиатуры без использования добавочного программного обеспечения. Стоимостные показатели модулей настолько низки, что их применение может оказаться экономически целесообразным даже в случае замены устройств, включающих в свой состав 2 многофункциональных реле времени или 2 таймера и 3-4 промежуточных реле.

Серия продуктов LOGO! соединяет в своем составе логические модули LOGO! Basic и LOGO! Pure, модули ввода-вывода дискретных сигналов DM8 (4 входа, 4 выхода) и DM16 (8 входов, 8 выходов), модули ввода аналоговых сигналов AM2 (2 входа) и аналогового вывода AM2 AQ (2 выхода), коммуникационные модули, модули бесшумной коммутации трехфазных цепей переменного тока LOGO! Contact, блоки питания LOGO! Power, аксессуары, а также программное обеспечение LOGO! Soft Comfort.

Из условий технического процесса нам потребуется контроллер с числом дискретных входов – 5 шт., аналоговых входов – 1 шт., дискретных выходов – 4. Также нужен один аналоговый вход и возможность управления преобразователем частоты.

Из линейки логических модулей LOGO! Basic выбираем логический модуль LOGO! 12/24RC (рис.24). Модуль обладает следующими техническими данными, представленными в таблице 8.





Рисунок 24 - Логический модуль LOGO! 24 Basic

Таблица 8 - Технические данные модуля LOGO! 24 Basic

Напряжение питания/входное напряжение, В	12/24 постоянного тока
<b>Дискретные входы</b>	
Количество (группы)/ тип	8 (1x8)/ Общий плюс или минус для всех входов
Входное напряжение, В: • низкого уровня, не менее • высокого уровня, не более	5 постоянного тока 8,5 постоянного тока
Количество (группы)/тип	4 (4x1)/замыкающие контакты реле
Импульсный ток выхода, А	30
Длительно допустимый ток выхода, А	10

Для реализации управления процессом необходимо дополнить логический модуль LOGO! Basic модулем дискретного ввода/вывода, имеющем минимум два выходных и три входных канала. Выбираем модуль расширения ввода/вывода дискретных сигналов LOGO! DM8 12/24R, имеющем по 4 дискретных входа и выхода (рис. 25).



Рисунок 25 - Модуль ввода-вывода дискретных сигналов LOGO! DM8 12/24R

Модули LOGO! DM позволяют увеличивать количество дискретных входов и выходов, обслуживаемых одним логическим модулем «LOGO!».

Технические данные модуля ввода-вывода дискретных сигналов LOGO! DM8 12/24R представлены в таблице 9.

Таблица 9 - Технические данные модуля ввода-вывода дискретных сигналов LOGO! DM8 12/24R

Напряжение питания/входное напряжение, В	12/24 постоянного тока
Дискретные входы	
Количество (группы)/ тип	4 (1x4)/ Нет гальванического разделения между входами
Входное напряжение, В: • низкого уровня, не менее • высокого уровня, не более	5 постоянного тока 8,5 постоянного тока
Дискретные выходы	
Количество (группы)/тип	4 (4x1)/замыкающие контакты реле
Импульсный ток выхода, А	30
Длительно допустимый ток выхода, А	5

### 3. РАСЧЁТ СТАТИСТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ РАЗОМКНУТОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

#### 3.1. Расчёт естественных характеристик системы регулируемого электропривода

Синхронная угловая скорость вращения двигателя:

$$\omega_c = \frac{\pi \cdot n_c}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314,159 \text{ рад / с}$$

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - S_n) \cdot n_c = (1 - 0,023) \cdot 3000 = 2930 \text{ об / мин}$$

Номинальная угловая скорость:

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - S_n) \cdot \omega_c = (1 - 0,023) \cdot 314,159 = 306,83 \text{ об / мин}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{лв}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{22000}{306,83} = 71,701 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тогда номинальный фазный ток:

$$I_{\text{фн}} = \frac{P_{\text{дв}}}{m \cdot U_{\text{ф}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{22000}{3 \cdot 220 \cdot 0,87 \cdot 0,91} = 42,103 \text{ А}$$

Для расчетов статических и динамических характеристик асинхронного двигателя найдем параметры схемы замещения. Т – образная схема замещения асинхронного двигателя для одной фазы приведена на рисунке 26.

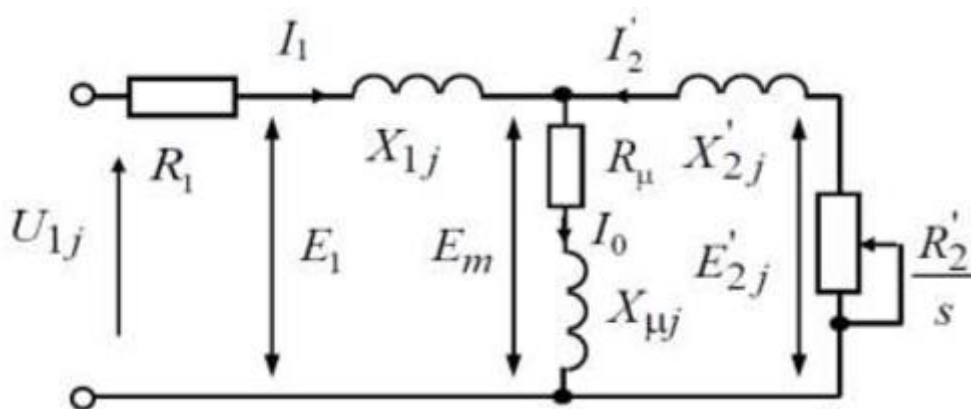


Рисунок 26 - Схема замещения асинхронного двигателя

Асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при загрузке на 10 – 15 % меньше номинальной. Коэффициент мощности при нагрузке равной значительно отличается от мощности при номинальной нагрузке, причем это отличие сильно зависит от мощности двигателя и для известных серий асинхронных двигателей с достаточной для практики точностью подчиняется зависимости, приведённой на рисунке 27.

Коэффициент мощности при частичной нагрузке:

$$\cos \varphi_p^* = 0,98 \cdot \cos \varphi = 0,95 \cdot 0,87 = 0,853$$

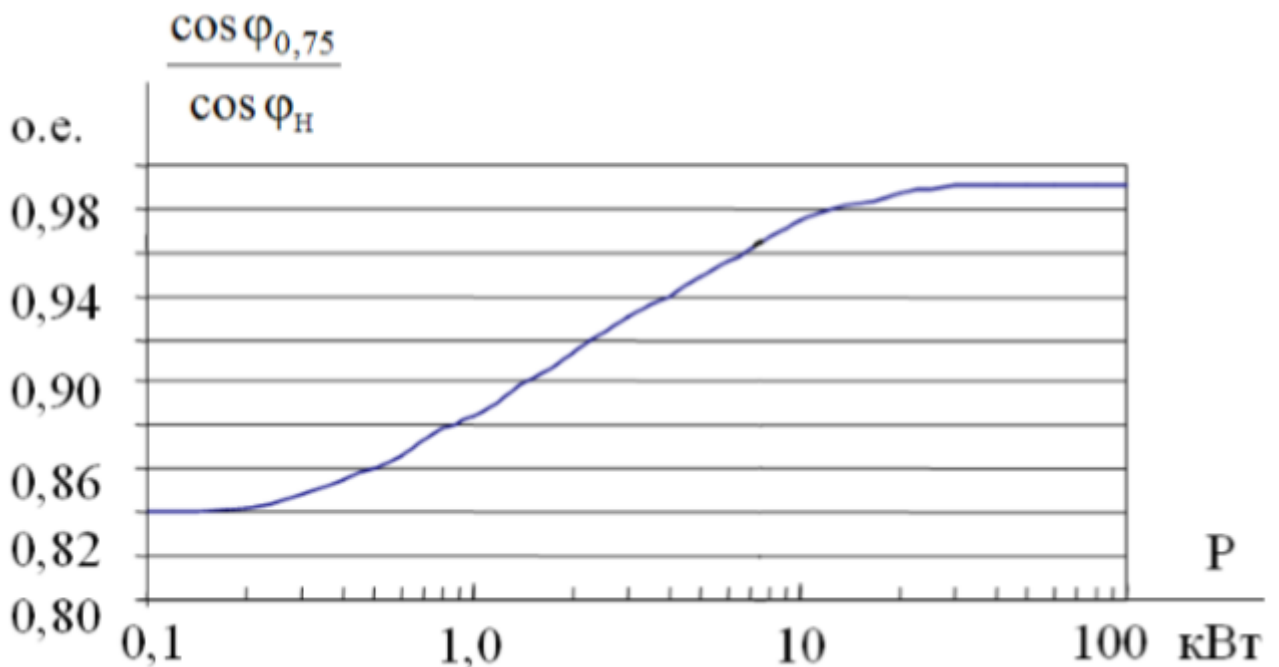


Рисунок 27 – Зависимость  $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_H$  от мощности асинхронных двигателей

Коэффициент загрузки двигателя принимаем  $p^*=0,75$  из-за указанных выше особенностей проектирования асинхронных двигателей.

Тогда ток статора двигателя при частичной нагрузке равен:

$$I_{11} = \frac{p^* \cdot P_{\text{дв}}}{m \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi_p^* \cdot \eta_n} = \frac{0,75 \cdot 22000}{3 \cdot 220 \cdot 0,853 \cdot 0,91} = 32,222 \text{ А}$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{p^* \cdot I_{\phi H} \cdot (1 - S_H)}{1 - p^* \cdot S_H}\right)^2}{1 - \left(\frac{p^* \cdot (1 - S_H)}{1 - p^* \cdot S_H}\right)^2}} = \sqrt{\frac{32,222^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 42,103 \cdot (1 - 0,023)}{1 - 0,75 \cdot 0,023}\right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot (1 - 0,023)}{1 - 0,75 \cdot 0,023}\right)^2}} =$$

$$= 10,915 \text{ A}$$

Из формулы Клосса следует соотношение для расчета критического скольжения:

$$S_{кр.} = S_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,023 \cdot \frac{2,9 + \sqrt{2,9^2 - (1 - 2 \cdot 0,023 \cdot 1 \cdot (2,9 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,023 \cdot 1 \cdot (2,9 - 1)} = 0,144 \text{ о.е.}$$

где в первом приближении коэффициент  $\beta=1$

Момент критический двигательного режима:

$$M_{кр.} = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_H \cdot C_1 \cdot \left[ R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 314,159 \cdot 1,019 \cdot \left[ 0,138 + \sqrt{0,138^2 + 0,944^2} \right]} = 207,933 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Критическое скольжение:

$$S_k = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_k^2}} = \pm \frac{0,135}{\sqrt{0,138^2 + 0,944^2}} = \pm 0,142$$

Максимальный момент двигателя:

$$M_{\max} = k_{\max} \cdot M_H = 2,9 \cdot 71,701 = 207,933 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Минимальный момент двигателя:

$$M_{\min} = k_{\min} \cdot M_H = 2 \cdot 71,701 = 143,402 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Предварительно для расчета активных и индуктивных сопротивлений (параметров схемы замещения) обмоток статора и ротора определяются следующие коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{\phi n}} = 1 + \frac{10,915}{2 \cdot 7 \cdot 42,103} = 1,019$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{\phi}^2 \cdot (1 - S_n)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_{\text{ос}}} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,023)}{3 \cdot 1,019 \cdot 2,9 \cdot 22000} = 1,091$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{S_{\text{кр}}}\right) \cdot C_1} = \frac{1,091}{\left(1 + \frac{1}{0,144}\right) \cdot 1,019} = 0,135 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление обмотки статора определяется по следующему выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,019 \cdot 0,135 \cdot 1 = 0,138 \text{ Ом}$$

Параметр  $\gamma$ , для определения сопротивления короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{S_{\text{кр}}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,144^2} - 1^2} = 6,856$$

$$X_{\kappa} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 6,856 \cdot 1,019 \cdot 0,135 = 0,944 \text{ Ом}$$

Тогда, индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, приближённо может быть рассчитано:

$$X_2' = 0,58 \cdot \frac{X_{\kappa}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{0,944}{1,019} = 0,537 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_{\kappa} = 0,42 \cdot 0,944 = 0,396 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания определяется через значение ЭДС обмотки статора

$$E_1 = \sqrt{(U_{\phi} \cdot \cos \varphi_n - R_1 \cdot I_{\phi n})^2 + (U_{\phi} \cdot \sin \varphi_n + X_1 \cdot I_{\phi n})^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0,87 - 0,138 \cdot 42,103)^2 + (220 \cdot 0,493 + 0,396 \cdot 42,103)^2} = 207,06 \text{ В}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{207,06}{10,915} = 18,97 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоками рассеяния:

$$L_{1\delta} = \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0,396}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,001 \text{ Гн}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоками рассеяния:

$$L'_{2\delta} = \frac{X'_2}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0,537}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,002 \text{ Гн}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием полюсов статора (индуктивность контура намагничивания):

$$L_m = \frac{X_m}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{18,97}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,06 \text{ Гн}$$

Найденные параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Параметры схемы замещения электродвигателя АИР180S2

$R_1, \text{Ом}$	$X_1, \text{Ом}$	$L_{1\delta}, \text{Гн}$	$X_m, \text{Ом}$	$L_m, \text{Гн}$	$R'_2, \text{Ом}$	$X'_2, \text{Ом}$	$L'_{2\delta}, \text{Гн}$	$X_k, \text{Ом}$
0,138	0,396	0,001	18,97	0,06	0,135	0,537	0,002	0,944

Механическая характеристика асинхронного электродвигателя рассчитывается по формуле:

$$M = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R'_2}{\omega_n \cdot s \cdot \left[ \left( R_1 + R'_2 \cdot s^{-1} \right)^2 + \left( X_{1\sigma} + X_{2\sigma} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,135}{306,83 \cdot s \cdot \left[ \left( 0,138 + 0,135 \cdot s^{-1} \right)^2 + \left( 0,396 + 0,537 \right)^2 \right]}$$

Численные значения механической характеристики сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Численные значения механической характеристики

$M$	0	212,33	202,28	165,48	135,9	114,15	97,98	85,64	75,97	68,22
$\omega$	306,83	273,03	239,32	205,57	171,82	138,07	104,32	70,57	36,82	3,06

Механическая характеристика асинхронного электродвигателя изображена на рисунке 28. Она справедлива в области номинальных скоростей.

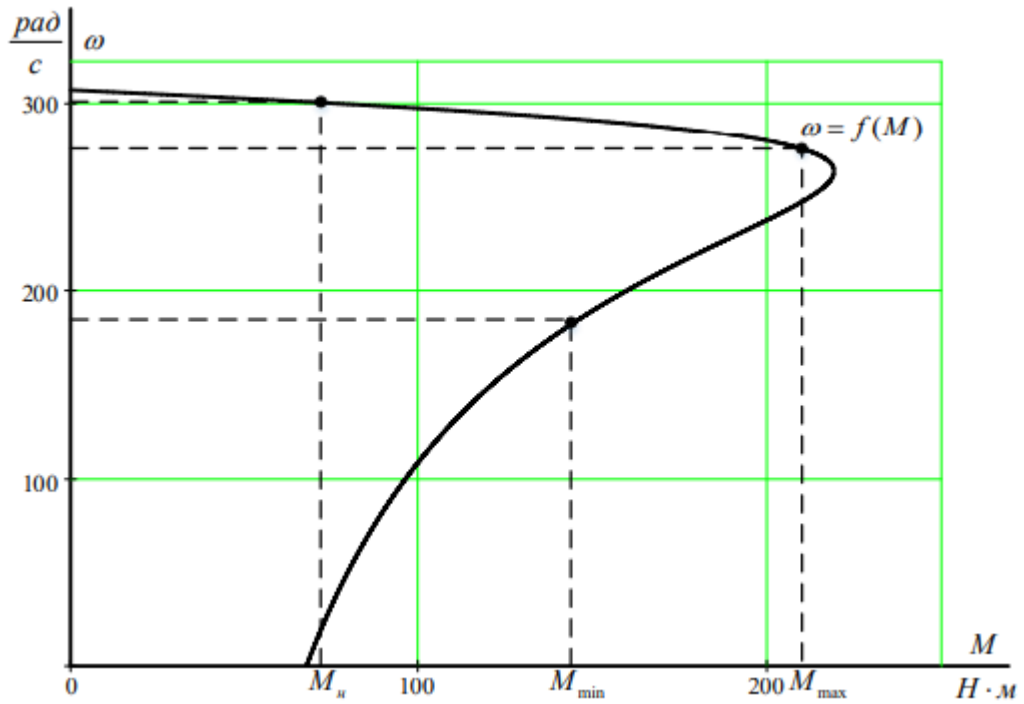


Рисунок 28 - Механическая характеристика асинхронного электродвигателя  
 Зависимость тока ротора  $I_2'$ , приведенного к обмотке статора, от скольжения  $S$  определяется следующим образом:

$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(0,138 + \frac{0,135}{s}\right)^2 + (0,196 + 0,537)^2}} \text{ , A ;}$$

Численные значения характеристики тока ротора сведены в таблицу 12.

Таблица 12 - Численные значения характеристики тока ротора

$I_2'$	0	132,95	183,52	203,3	212,73	217,98	221,23	223,41	224,95	226,1
$\omega$	306,83	273,03	239,32	205,57	171,82	138,07	104,32	70,57	36,82	3,06

График электро-механической характеристики  $\omega = f(I_2')$  приведен на рисунке 29.



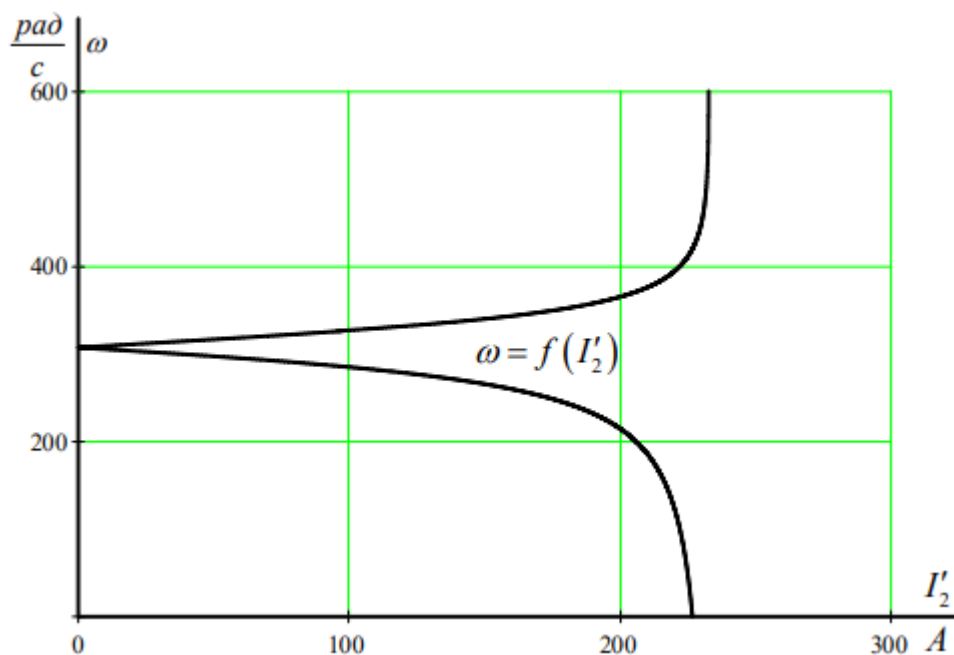


Рисунок 29 - график электромеханической характеристики тока обмотки ротора

$$\omega = f(I_2')$$

Для построения электромеханической характеристики тока обмотки статора использовано следующее выражение:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0'^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0' \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \varphi_{2н}} = \sqrt{10,915^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot 10,915 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \varphi_{2н}}$$

Где,

$$\sin \varphi_{2н} = \frac{X_k}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_k^2}} = \frac{0,944}{\sqrt{\left(0,138 + \frac{0,135}{s}\right)^2 + 0,944^2}}$$

Численные значения характеристики тока статора сведены в таблицу 5.

Таблица 13 - Численные значения характеристики тока статора

$I_2'$	10,91	139,45	192,18	212,81	222,66	228,13	231,52	233,79	235,4	236,6
$\omega$	306,83	273,03	239,32	205,57	171,82	138,07	104,32	70,57	36,82	3,06

Электромеханические характеристики двигателя приведены на рисунке 29.

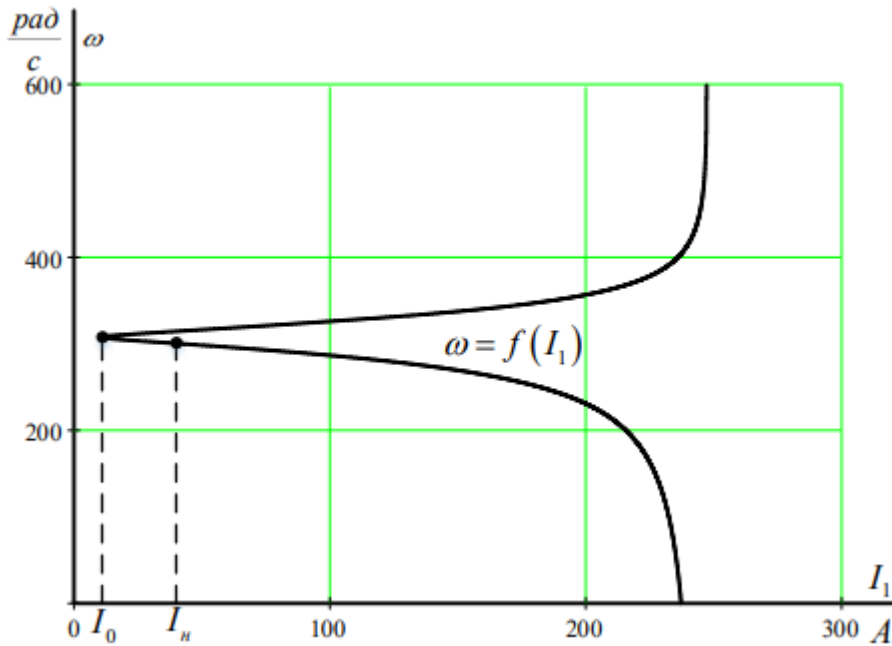


Рисунок 29 - График естественной электромеханической характеристики

$$I_1 = f(s) \text{ асинхронного двигателя}$$

Номинальный ток статора асинхронного двигателя  $I_{1н}$  при нормальном скольжении  $S_n = 0,023$  в соответствии с электромеханической характеристикой.

Номинальный ток ротора определяется при нормальном скольжении:

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(0,138 + \frac{0,135}{0,023}\right)^2 + (0,396 + 0,537)^2}} = 36,649 \text{ A};$$

Номинальный ток статора двигателя:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \varphi_{2н}} = \\ = \sqrt{10,915^2 + 36,649^2 + 2 \cdot 10,915 \cdot 36,649 \cdot 0,157} = 39,85 \text{ A};$$

### 3.2 Расчет искусственных (регулирующих) характеристик системы регулируемого электропривода

С учетом того, что диапазон регулирования скорости насосов невелик и механизмы такого класса не требуют обеспечения высокой кратности пускового и максимального моментов, в качестве законов регулирования  $U_1/f_1$  могут быть приняты законы  $U_1/f_1 = \text{const}$  и  $U_1/f_1^2 = \text{const}$ .

Так как насосные установки имеют нелинейно возрастающую механическую характеристику, зависящую от скорости двигателя, то примем в дальнейших расчетах в качестве закона регулирования  $U_1/f_1^2 = \text{const}$ .

Расчет характеристик производится для частот  $f_1 = 50; 40; 20; 10$  Гц.

При законе регулирования  $Z_p = \frac{U_{1н}}{f^2} = \frac{220}{50^2} = 0,088$

Относительные значения частот питающего напряжения:

при $f_{1н1} = 50$ Гц	$f_{1*1} = \frac{f_{1н}}{f_{1н}} = \frac{50}{50} = 1$
при $f_{1н2} = 40$ Гц	$f_{1*2} = \frac{f_{2н}}{f_{1н}} = \frac{40}{50} = 0,8$
при $f_{1н3} = 20$ Гц	$f_{1*3} = \frac{f_{3н}}{f_{1н}} = \frac{20}{50} = 0,4$
при $f_{1н4} = 10$ Гц	$f_{1*4} = \frac{f_{4н}}{f_{1н}} = \frac{10}{50} = 0,2$

Фазное напряжение обмотки статора асинхронного двигателя:

$$U_{1н1} = Z_p \cdot f_{1н1}^2 = 0,088 \cdot 50^2 = 220 \text{ В};$$

$$U_{1н2} = Z_p \cdot f_{1н2}^2 = 0,088 \cdot 40^2 = 140,8 \text{ В};$$

$$U_{1н3} = Z_p \cdot f_{1н3}^2 = 0,088 \cdot 20^2 = 35,2 \text{ В};$$

$$U_{1н4} = Z_p \cdot f_{1н4}^2 = 0,088 \cdot 10^2 = 8,8 \text{ В};$$

В соответствии с представленными частотами питающего напряжения произведем расчет значений скорости идеального холостого хода:

$$\omega_{01} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1н1}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 314,159 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{02} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1н2}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 40}{2} = 251,327 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{03} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1н3}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 20}{2} = 125,664 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{04} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1н4}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 10}{2} = 62,832 \text{ рад/с};$$

Токи холостого хода при данных частотах регулирования:

$$I_{01} = \frac{U_{1H1}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*1}} = \frac{220}{18,97 \cdot 1} = 10,54 \text{ А};$$

$$I_{02} = \frac{U_{1H2}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*2}} = \frac{140,8}{18,97 \cdot 0,8} = 9,27 \text{ А};$$

$$I_{03} = \frac{U_{1H3}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*3}} = \frac{35,2}{18,97 \cdot 0,4} = 4,63 \text{ А};$$

$$I_{04} = \frac{U_{1H4}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*4}} = \frac{8,8}{18,97 \cdot 0,2} = 2,31 \text{ А};$$

Численные значения характеристики тока ротора сведены в таблицу 14.

Таблица 14 – Численные значения характеристики тока ротора

40 Гц	$I_2'$	0	90,5	132,2	150,7	160,2	165,7	169,2	171,5	173,2	174,5
	$\omega$	251,3	223,6	196	168,3	140,7	113,1	85,45	57,8	30,15	2,5
20 Гц	$I_2'$	0	24,9	42	53,1	60,4	65,4	69,1	71,7	73,7	75,3
	$\omega$	125,6	111,8	98	84,19	70,37	56,54	42,72	28,9	15,8	1,25
10 Гц	$I_2'$	0	6,4	11,4	15,29	18,3	20,6	22,6	24,16	25,45	26,53
	$\omega$	62,8	55,9	49	42,1	35,2	28,3	21,36	14,4	7,5	0,6

Электромеханические характеристики (рис. 30)  $I_2'(s, f)$  для выбранных частот строятся по выражениям:

$$I_2'(s, f) = \frac{U_1(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\mu H}^2 \cdot f_{1*}^2(f) + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}\right)}},$$

где  $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1-s)$ .

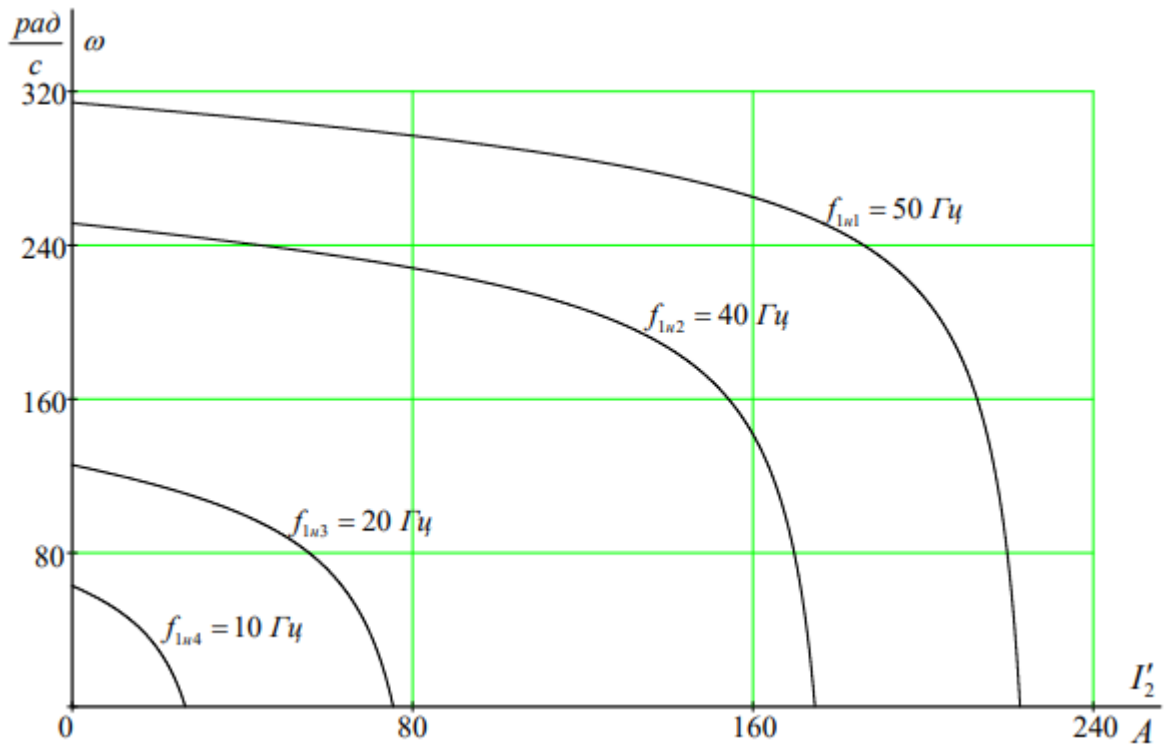


Рисунок 30 – Искусственные электромеханические характеристики тока ротора  $I_2'(\omega)$

Численные значения характеристики тока статора сведены в таблицу 15.

Таблица 15 – Численные значения характеристики тока статора

40 Гц	$I_1$	7,5	94,2	137,2	156,3	166	171,6	175,2	177,6	179,3	180,6
	$\omega$	251,3	223,6	196	168,3	140,7	113,1	85,45	57,8	30,15	2,5
20 Гц	$I_1$	3,7	26,2	43,8	55,2	62,8	67,9	71,6	74,4	76,5	78,1
	$\omega$	125,6	111,8	98	84,19	70,37	56,54	42,72	28,9	15,8	1,25
10 Гц	$I_1$	1,87	6,93	12,01	16	19,1	21,5	23,5	25,1	26,4	27,59
	$\omega$	62,8	55,9	49	42,1	35,2	28,3	21,36	14,4	7,5	0,6

Также строятся электромеханические характеристики (рис. 31)  $I_1(\omega)$  для выбранных частот по выражениям:

$$I_1(s, f) = \sqrt{(I_0(s, f))^2 + (I_2'(s, f))^2 + 2 \cdot I_0(f) \cdot I_2'(s, f) \cdot \sin \varphi_2(s, f)},$$

где  $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1 - s)$ ,

$$\sin \varphi_2(s, f) = \frac{X_{KH} \cdot f_{1*}(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2(f)}};$$

$$I_0(f) = \frac{U_1(f)}{X_{\mu n} \cdot f_{1*}(f)} \text{ — ток холостого хода асинхронного двигателя в}$$

зависимости от частоты.

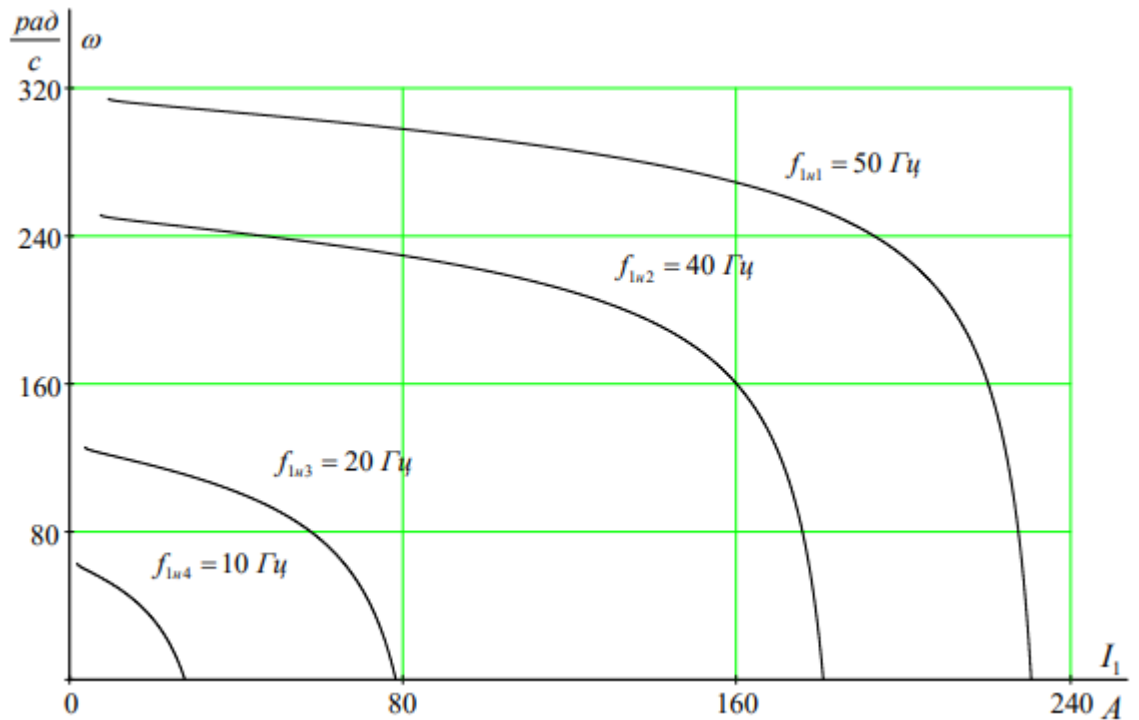


Рисунок 31 – Искусственные электромеханические характеристики тока статора  $I_1(\omega)$

Механические характеристики асинхронного двигателя  $M(\omega)$  (рис. 26) рассчитываются для выбранных частот по выражениям:

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2 \cdot R_2'}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[ X_{KH}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right) \cdot \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu n} \cdot f_1(f)} \right)^2 \right]},$$

где  $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1-s)$ .

Критические момент и скольжение можно определить по выражениям

$$M_{\kappa}(f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2}{2 \cdot \omega_0(f) \cdot \left[ R_1 + \sqrt{\left( R_1^2 + X_{\kappa H}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 \right) \cdot \left( 1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu H}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2} \right)} \right]},$$

$$\text{где } s_{\kappa}(f) = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu H}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2}}{R_1^2 + X_{\mu H}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2}}, \quad \omega_{\kappa}(f) = \omega \cdot (s_{\kappa}(f), f).$$

Численные значения механической характеристики сведены в таблицу 16.

Таблица 16 – Численные значения механической характеристики

40	<i>M</i>	0	119	127,3	110,4	93,5	80	69,5	61,3	54,6	49,32
Гц	$\omega$	251,3	223,6	196	168,3	140,7	113,1	85,45	57,8	30,15	2,5
20	<i>M</i>	0	18,1	25,7	27,4	26,62	24,9	23,17	21,4	19,82	18,39
Гц	$\omega$	125,6	111,8	98	84,19	70,37	56,54	42,72	28,9	15,8	1,25
10	<i>M</i>	0	2,4	3,8	4,5	4,8	4,9	4,9	4,8	4,7	4,5
Гц	$\omega$	62,8	55,9	49	42,1	35,2	28,3	21,36	14,4	7,5	0,6

Расчёт функции нагрузки произведён далее. Момент трения  $M_0 = 1,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . При частоте  $f_{1H} = 50 \text{ Гц}$  нагрузка проходит через точку номинального режима двигателя. Коэффициент  $k$  при этом равен:

$$k = \frac{M_H - M_0}{\omega_H^3} = \frac{71,701 - 1,2}{306,83^3} = 0,00000244$$

Насосная нагрузка описывается функцией:

$$M_c = M_0 + k \cdot \omega^3 = 1,2 + 0,00000244 \cdot \omega^3$$

Механические характеристики двигателя и нагрузки, представлены на рисунке 33.

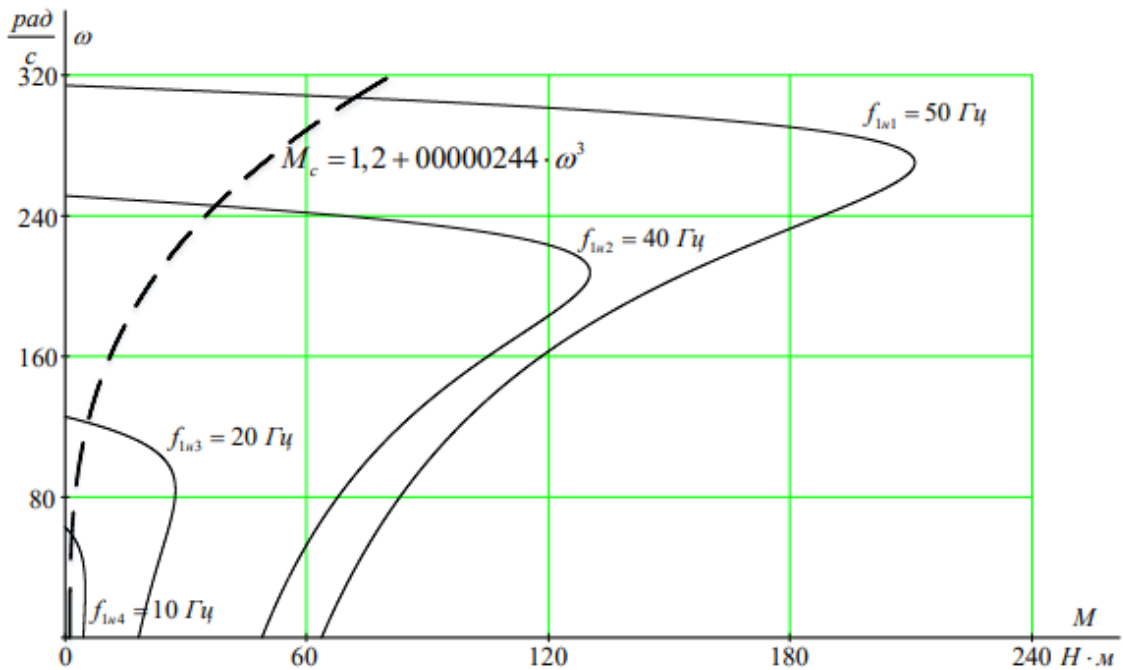


Рисунок 33 - Искусственные механические характеристики  $M(\omega)$

### Анализ полученных данных

Электромеханические характеристики:

При уменьшении частоты происходит уменьшение синхронной скорости, т.к.

$$\omega_0 = \frac{60 \cdot f}{p} \cong f \quad - \quad \text{при уменьшении частоты синхронная скорость}$$

снижается.

$$I'_{2кз} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2')^2 + X_{кн}^2}} \cong \frac{U_1}{f} \cong f \quad - \quad \text{ток короткого замыкания обратно}$$

квадратному корню из частоты.

Механические характеристики:

$$\omega_0 = \frac{60 \cdot f}{p} \cong f \quad - \quad \text{при уменьшении частоты синхронная скорость}$$

снижается.

$$s_k = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}} \cong \frac{1}{f}, \quad M_k = \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot [R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}]} \cong \frac{U_1^2}{f^2} \cong f^2$$

Критические момент и скольжение обратно пропорциональны частоте.



$M_n = 2 \cdot M_k \cdot s_k \cong f$  - пусковой момент обратно пропорционален квадрату частоты.

### 3.3. Расчет потерь в асинхронном двигателе при работе на искусственных характеристиках

Определим потери в роторе при работе с насосной нагрузкой. Зададим функцию нагрузки. Примем момент трения  $M_0 = 1,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Примем, что при частоте  $f_{1n} = 50 \text{ Гц}$  нагрузка проходит через точку номинального режима двигателя.

Найдем частоты вращения, при которых происходит пересечение механических характеристик нагрузки и двигателя:

$$f_{1n1} = 50 \text{ Гц} - \omega_{p1} = 306,83 \text{ рад} / \text{с};$$

$$f_{1n2} = 40 \text{ Гц} - \omega_{p2} = 245,227 \text{ рад} / \text{с};$$

$$f_{1n3} = 20 \text{ Гц} - \omega_{p3} = 122,771 \text{ рад} / \text{с};$$

$$f_{1n4} = 10 \text{ Гц} - \omega_{p4} = 61,35 \text{ рад} / \text{с};$$

Определим момент нагрузки и скольжение для каждой частоты вращения.

$$M_{c1} = M_0 + k \cdot \omega_{p1}^3 = 1,2 + 0,00000244 \cdot 306,83^3 = 71,701 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_{p1} = \frac{\omega_{01} - \omega_{p1}}{\omega_{01}} = \frac{314,159 - 306,83}{314,159} = 0,023.$$

$$M_{c2} = M_0 + k \cdot \omega_{p2}^3 = 1,2 + 0,00000244 \cdot 245,227^3 = 37,182 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_{p2} = \frac{\omega_{02} - \omega_{p2}}{\omega_{02}} = \frac{251,327 - 245,227}{251,327} = 0,017.$$

$$M_{c3} = M_0 + k \cdot \omega_{p3}^3 = 1,2 + 0,00000244 \cdot 122,771^3 = 5,715 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_{p3} = \frac{\omega_{03} - \omega_{p3}}{\omega_{03}} = \frac{125,664 - 122,771}{125,664} = 0,023.$$

$$M_{c4} = M_0 + k \cdot \omega_{p4}^3 = 1,2 + 0,00000244 \cdot 61,35^3 = 1,731 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_{p4} = \frac{\omega_{04} - \omega_{p4}}{\omega_{04}} = \frac{62,832 - 61,35}{62,832} = 0,023.$$

Потери в роторе рассчитаем по выражению:

$$\Delta P_2 = \omega_0 \cdot s_p \cdot M_c$$

$$\Delta P_{21} = \omega_{01} \cdot s_{p1} \cdot M_{c1} = 314,159 \cdot 0,023 \cdot 71,701 = 518,08 \text{ Вт.}$$

$$\Delta P_{22} = \omega_{02} \cdot s_{p2} \cdot M_{c2} = 94,25 \cdot 0,017 \cdot 37,182 = 59,574 \text{ Вт.}$$

$$\Delta P_{23} = \omega_{03} \cdot s_{p3} \cdot M_{c3} = 62,83 \cdot 0,023 \cdot 5,715 = 8,258 \text{ Вт.}$$

$$\Delta P_{24} = \omega_{04} \cdot s_{p4} \cdot M_{c4} = 47,12 \cdot 0,023 \cdot 1,731 = 1,857 \text{ Вт.}$$

Анализируя потери в роторе можно сказать, что уменьшение частоты приводит к их уменьшению. Это можно объяснить тем, что потери в двигателе прямо пропорциональны скорости двигателя и нагрузке.

По расчетным точка получена кривая отражающая зависимость потерь в роторе от частоты питающего напряжения. Она изображена на рисунке 34.

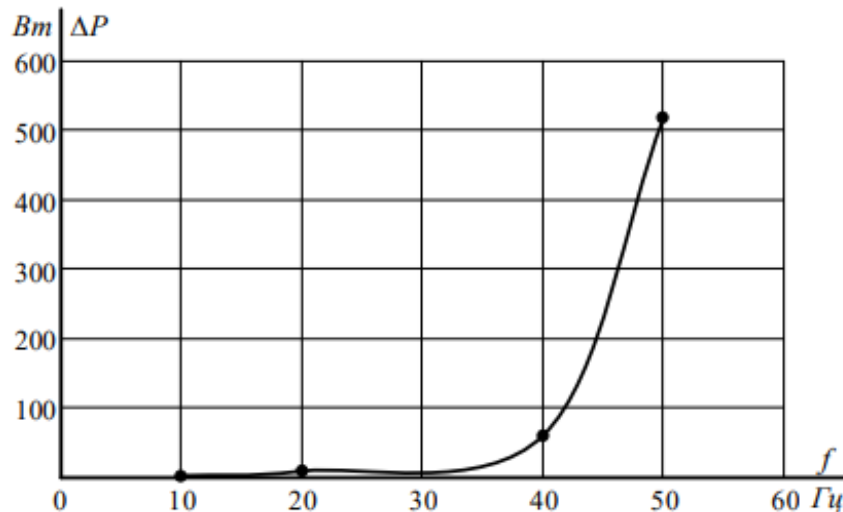


Рисунок 34 - Зависимость потерь в роторе от частоты питающего напряжения

### 3.4. Расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска, наброса и сброса нагрузки на валу двигателя

Моделирование асинхронного двигателя осуществляется с помощью программы MATLAB Simulink. Для создания имитационной модели использованы параметры схемы замещения двигателя, приведённые в таблице 10.

Имитационная модель для снятия переходных процессов изображена на рисунке 35.

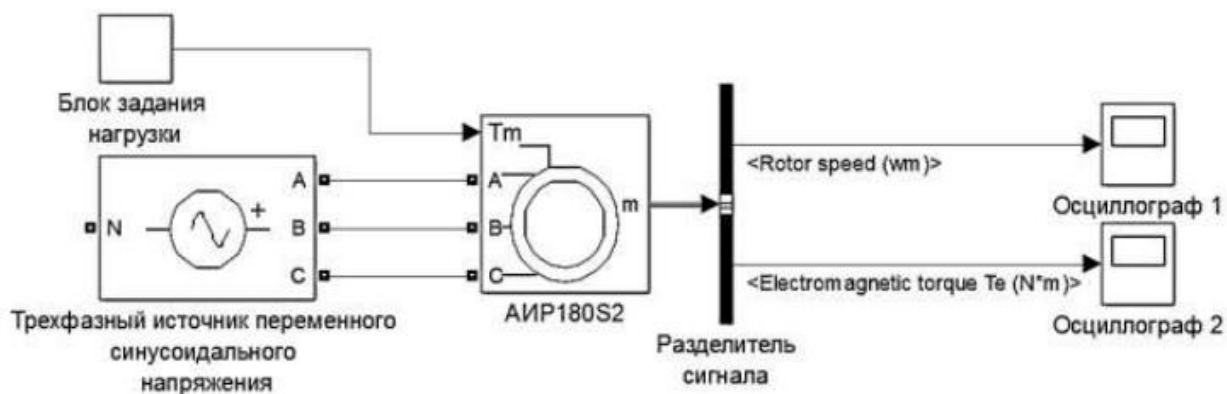


Рисунок 35 – Имитационная модель прямого пуска асинхронного двигателя

Для получения переходных характеристик пуска двигателя, наброса и сброса нагрузки в одних осях, была создана модель блока задания нагрузки, которая приведена на рисунке 36.

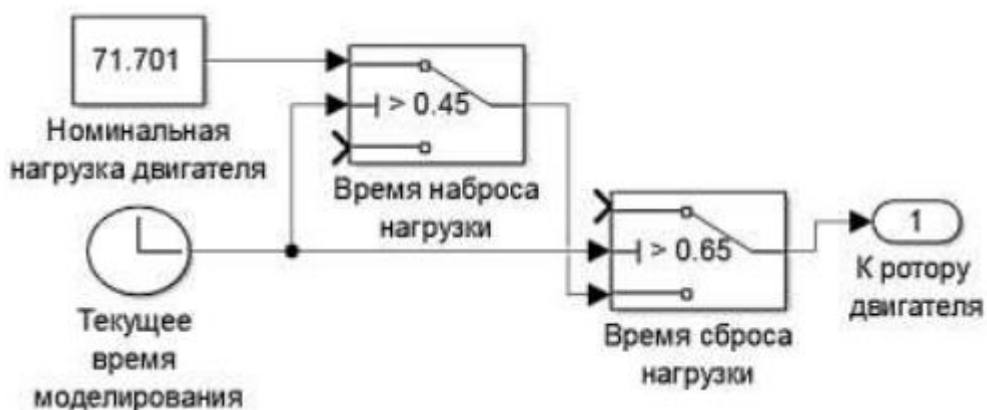


Рисунок 36 – Имитационная модель блока задания нагрузки

На рисунке 37 – представлены переходные характеристики скорости и момента, а также динамическая механическая характеристика при прямом пуске АД без нагрузки и при набросе нагрузки.

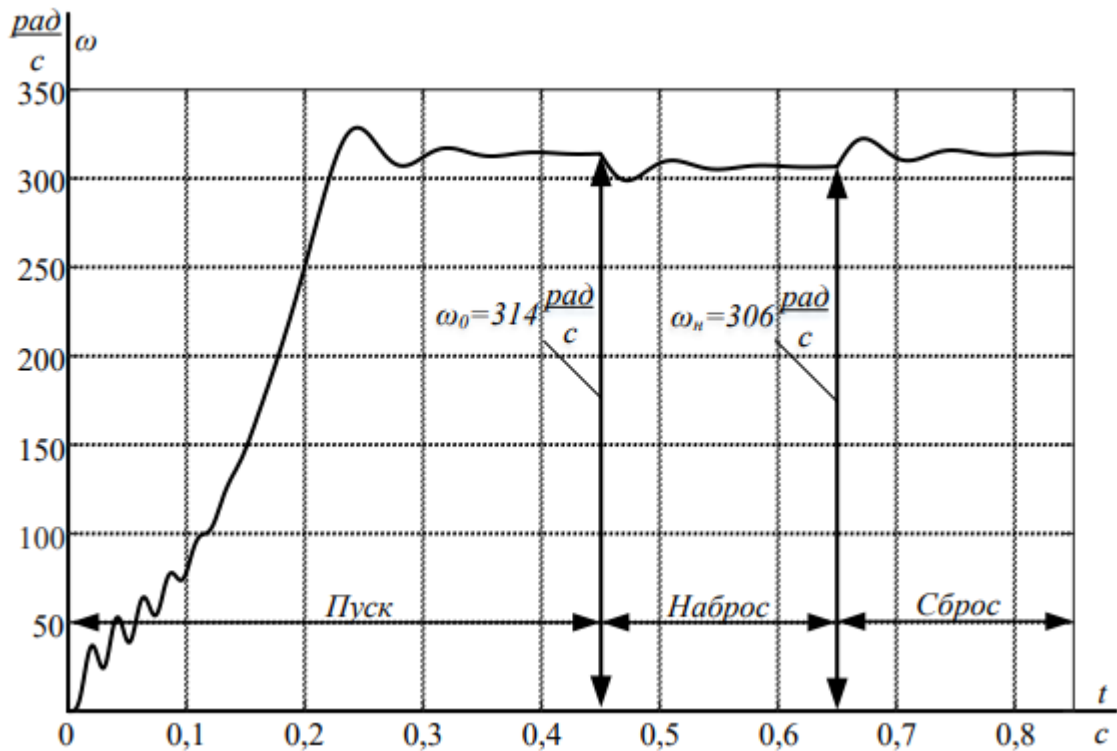


Рисунок 37 – Переходная характеристика  $\omega = f(t)$  скорости ротора АД при пуске, набросе, сбросе нагрузки

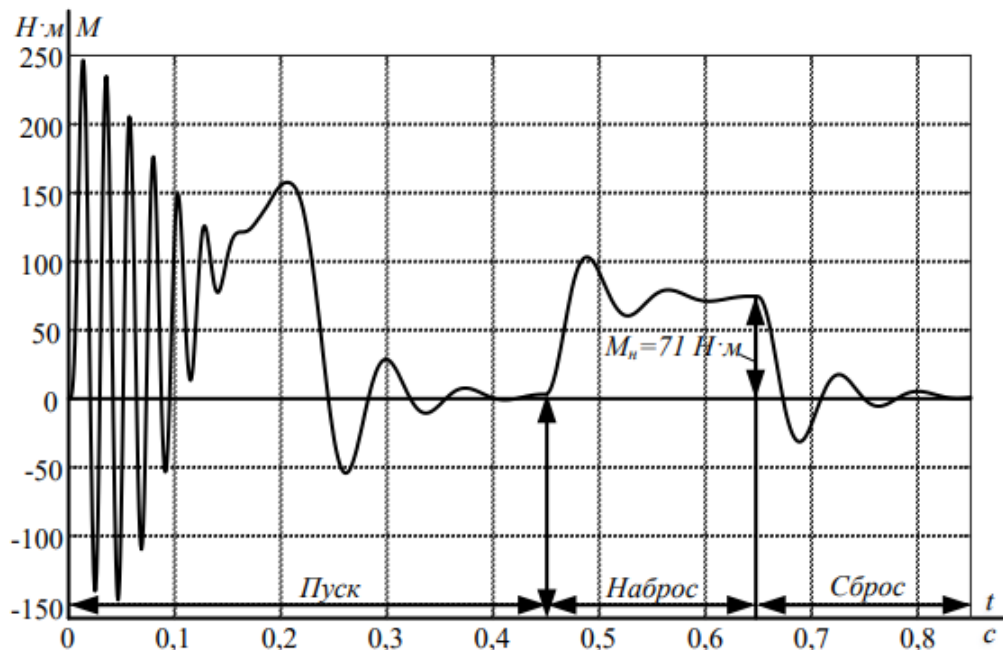


Рисунок 38 – Переходная характеристика  $M = f(t)$  электромагнитного момента АД при пуске, набросе, сбросе нагрузки

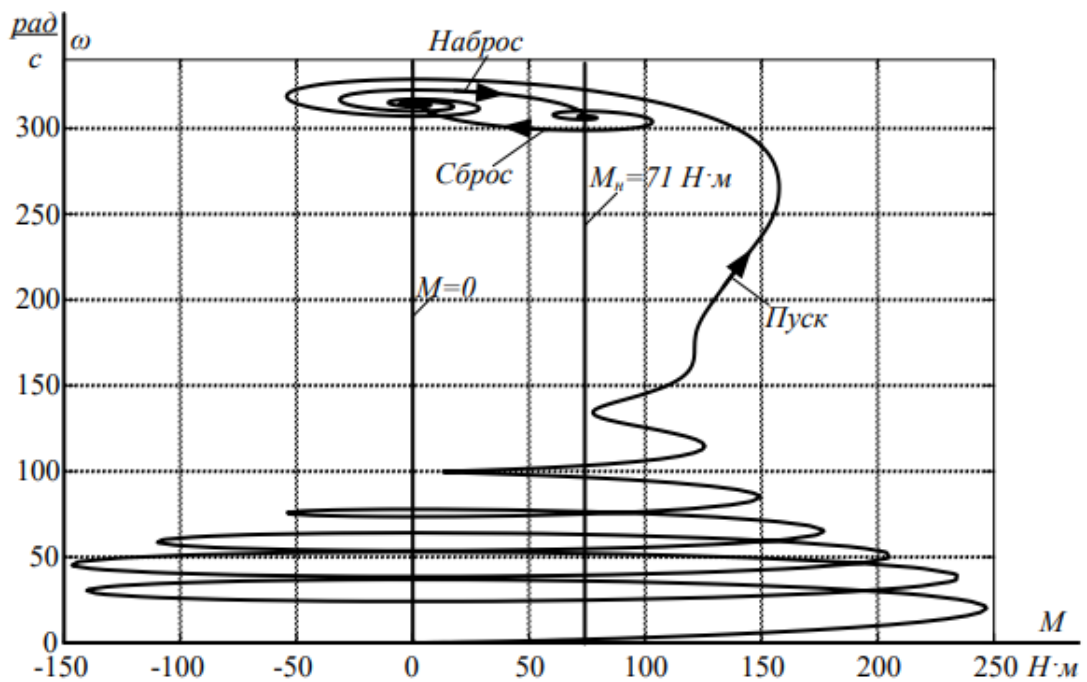


Рисунок 39 – Динамическая механическая характеристика  $\omega = f(M)$

асинхронного двигателя при пуске, набросе, сбросе нагрузки

Как видно из графиков модель двигателя работает правильно, имитационная модель адекватна, двигатель выходит на номинальную скорость ( $\omega_n = 306 \text{ рад/с}$ ) при номинальной нагрузке ( $M_n = 71 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ) и частоте питающей сети. Следовательно, переходные характеристики получены верно.

## 4. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

### 4.1. Разработка системы скалярного управления насоса в программной среде MatLab Simulink

Структурная схема частотного - регулируемого электропривода насоса в системе поддержания давления воды со скалярной IR-компенсацией представлена на рисунке 40.

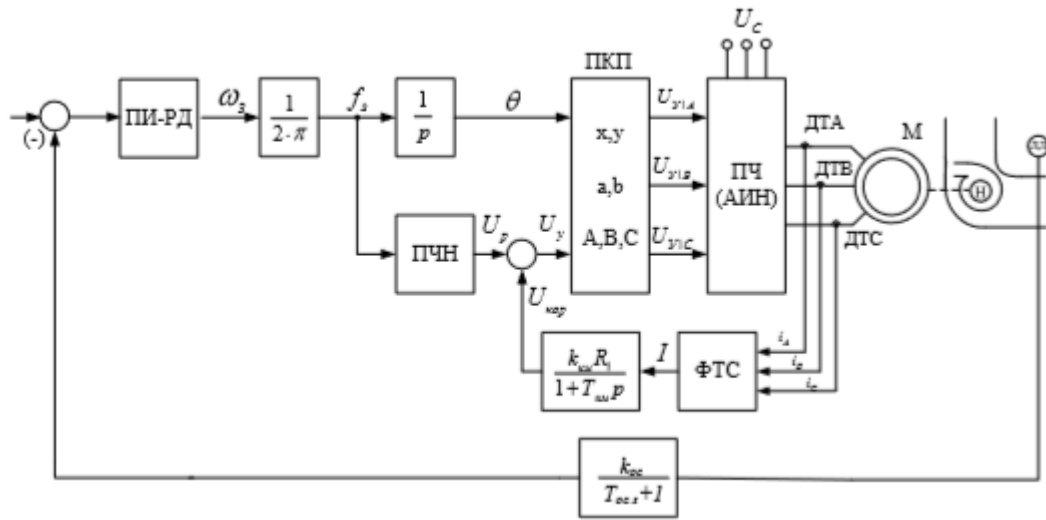


Рисунок 40 - Структурная схема частотного - регулируемого электропривода насоса в системе поддержания давления воды со скалярной IR-компенсацией

Для начала рассмотрим контур давления на рисунке 41.

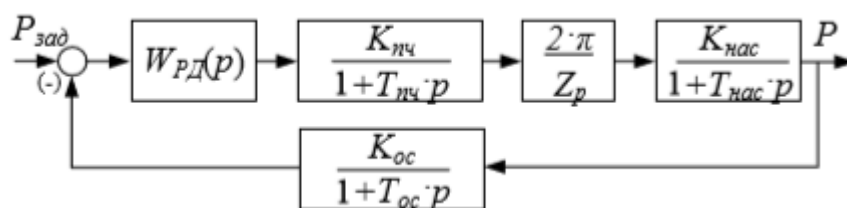


Рисунок 41 - Структурная схема контура давления

Где,  $W_{рД(p)}$  – передаточная функция регулятора давления;

$K_{пч}$  – коэффициент передачи преобразователя частоты ( $K_{пч} = 1$ );

$T_{пч}$  – постоянная времени запаздывания автономного инвертора напряжения;

$$\text{где } T_{пч} = \frac{1}{5000} = 0,0002 \text{ с}$$

$K_{нас}$  – коэффициент передачи насоса;

$$K_{нас} = \frac{P}{\omega_n} = \frac{4,839}{306,83} = 0,0158$$

Где  $p = 4,839$  атм. – номинальное при  $\omega_n$ ;

$T_{нас}$  – постоянная времени запаздывания насоса;

Принимается  $T_{об} = 0,1$  с

$K_{ос}$  – коэффициент передачи обратной связи;

Принимается  $K_{ос} = 1$

$T_{ос}$  – постоянная времени запаздывания обратной связи;

Принимается с  $T_{ос} = 0,1$  с

Синтез регулятора давления на модульный оптимум

Разомкнутый контур давления (рис. 42) с ПИ регулятором (рис. 43), настроенный на модульный оптимум, должен иметь следующую передаточную функцию:

$$W_{TO}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1)}$$

где  $T_{\mu}$  – малая постоянная времени контура давления

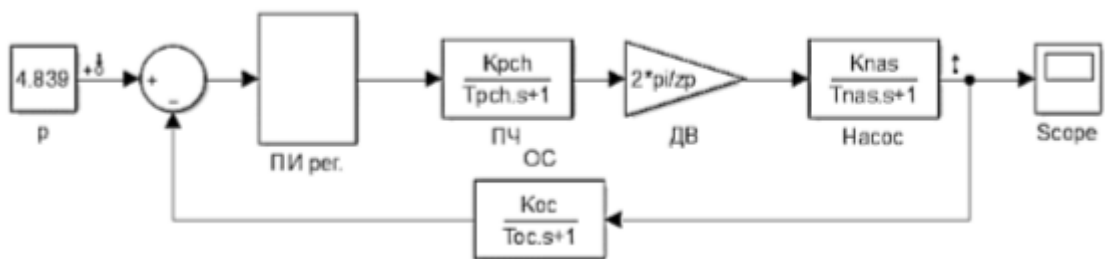


Рисунок 42 - Имитационная модель контура давления в программной среде MatLab Simulink

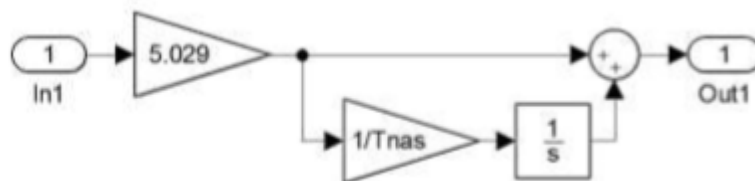


Рисунок 43 – Имитационная модель ПИ-регулятора

Передаточная функция разомкнутого контура давления системы определяется следующим образом:

$$W_{РАЗ КД}(p) = W_{РД}(p) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{z_p} \cdot \frac{K_{ПЧ}}{1 + T_{ПЧ} p} \cdot \frac{K_{нас}}{1 + T_{нас} p} \cdot \frac{K_{ос}}{1 + T_{ос} p}$$

отсюда получается следующее выражение:

$$W_{РД}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1)} \cdot \frac{(T_{ПЧ} p + 1)(T_{нас} p + 1)(T_{ос} p + 1)}{K_{нас} + K_{ос} + K_{ПЧ}} \cdot \frac{z_p}{2 \cdot \pi}$$

При оптимизации, инерционность в канале обратной связи относится к «малым», и за малую некомпенсируемую постоянную времени всего контура принимают:

$$T_{\mu k} = T_{\mu} + T_{ос} = 0,0002 + 0,1 = 0,1002$$

$$T_{об} \gg T_{ПЧ}$$

$$T_{ПЧ} \gg T_{\mu}$$

$$W_{РД}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu k} p (T_{\mu k} p + 1)} \cdot \frac{(T_{\mu k} p + 1)(T_{нас} p + 1)}{K_{нас} + K_{ос} + K_{ПЧ}} \cdot \frac{z_p}{2 \cdot \pi}$$

$$W_{РД}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu k} p} \cdot \frac{(T_{нас} p + 1)}{K_{нас} + K_{ос} + K_{ПЧ}} \cdot \frac{z_p}{2 \cdot \pi}$$

После сокращения домножим полученное выражение на  $T_{об}$  после чего приведём выражение к каноническому виду.

$$W_{РД} = \frac{T_{нас} p \cdot z_p}{2 \cdot T_{\mu k} \cdot K_{нас} + K_{ос} + K_{ПЧ} \cdot 2 \cdot \pi} \cdot \frac{(T_{нас} p + 1)}{T_{нас} p}$$

Анализируя полученную передаточную функцию регулятора, видно, что в дальнейшем моделировании требуется использовать ПИ-регулятор.

С помощью инструмента Linear Analysis программной среде MatLAB Simulink, получен переходный процесс контура давления и его показатели качества, которые представлены на рисунке 44.



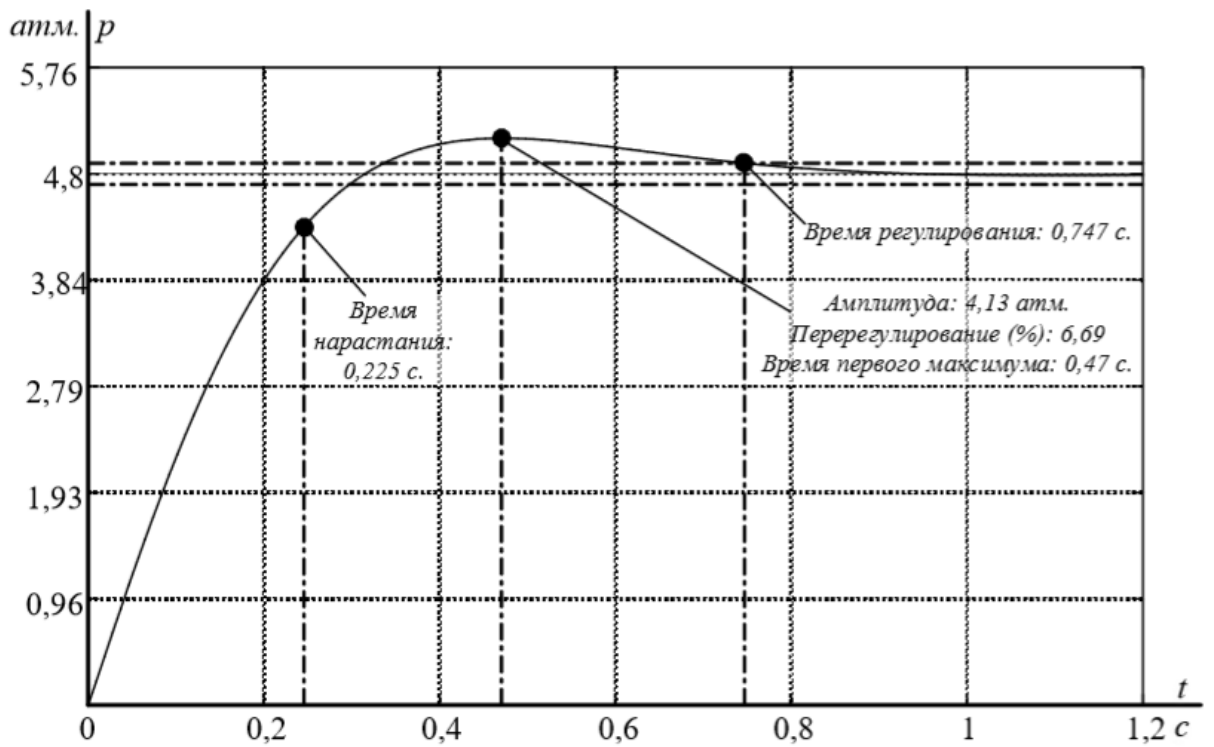


Рисунок 44 - Переходные процессы контура давления

В таблице 17 приведены показатели качества работы контура давления.

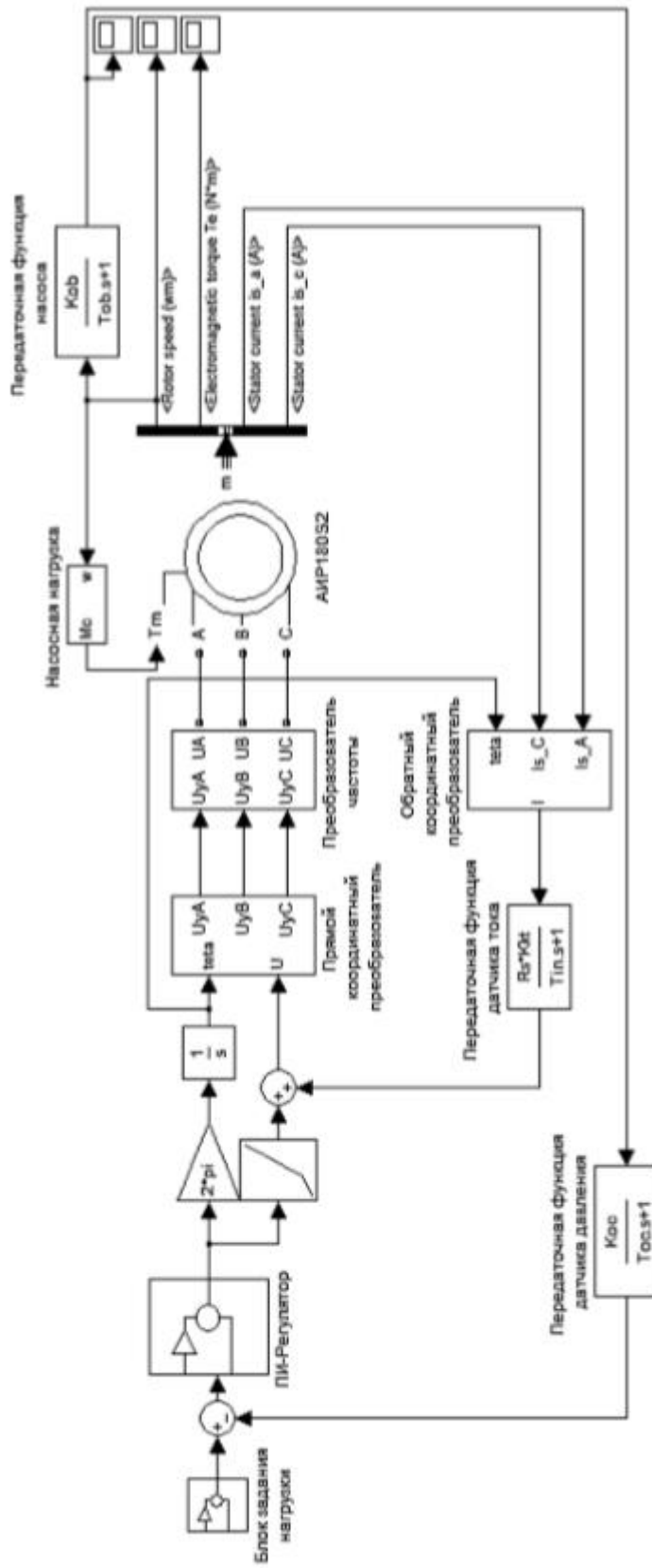
Таблица 17 - Показатели качества работы контура давления

$t_{PV1}^{(5)}, c$	$t_{PV2}^{(5)}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta P_{уст}, A$
Ожидаемые показатели			
0,41082	0,41082	4,3%	0
Результаты моделирования			
0,747	0,747	6,69%	0

$$t_{PV1}^{(5)} = t_{PV2}^{(5)} = 4,1 \cdot (T_{\mu} + T_{oc}) = 4,1 \cdot (0,0002 + 0,1) = 0,41082$$

В результате моделирования можно сделать вывод, что контур давления настроен верно.

На рисунке 45 изображена имитационная модель асинхронного частотно-регулируемого электропривода насоса.



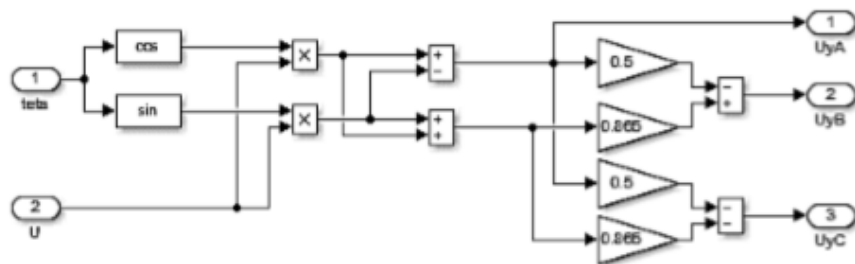


Рисунок 46 - Имитационная модель прямого координатного преобразователя

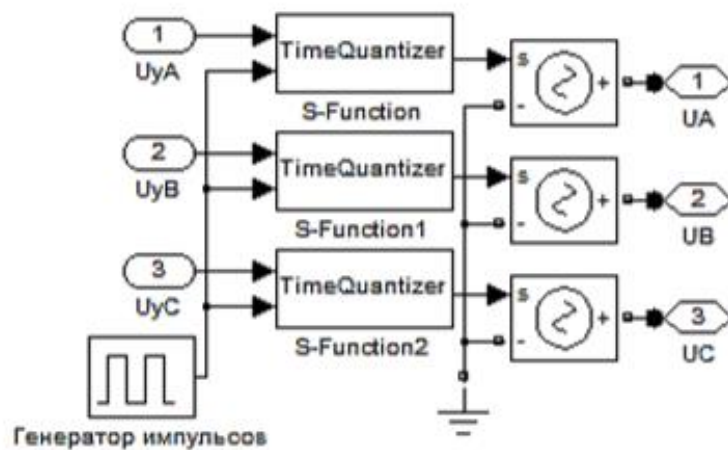


Рисунок 47 - Имитационная модель преобразователя частоты

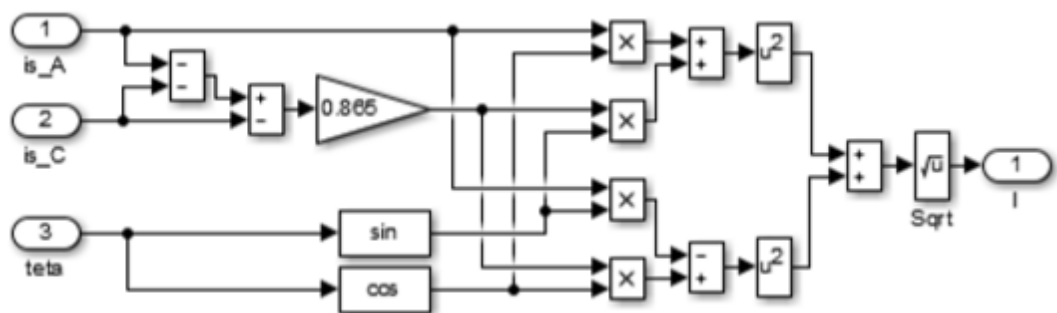


Рисунок 48 - Имитационная модель обратного координатного преобразователя

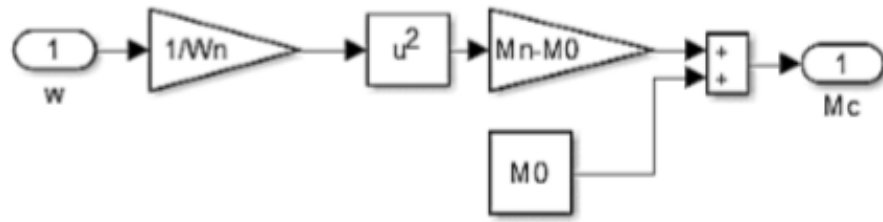


Рисунок 49 - Имитационная модель вентиляторной нагрузки

Результаты моделирования системы при приведены на рисунках 50-52

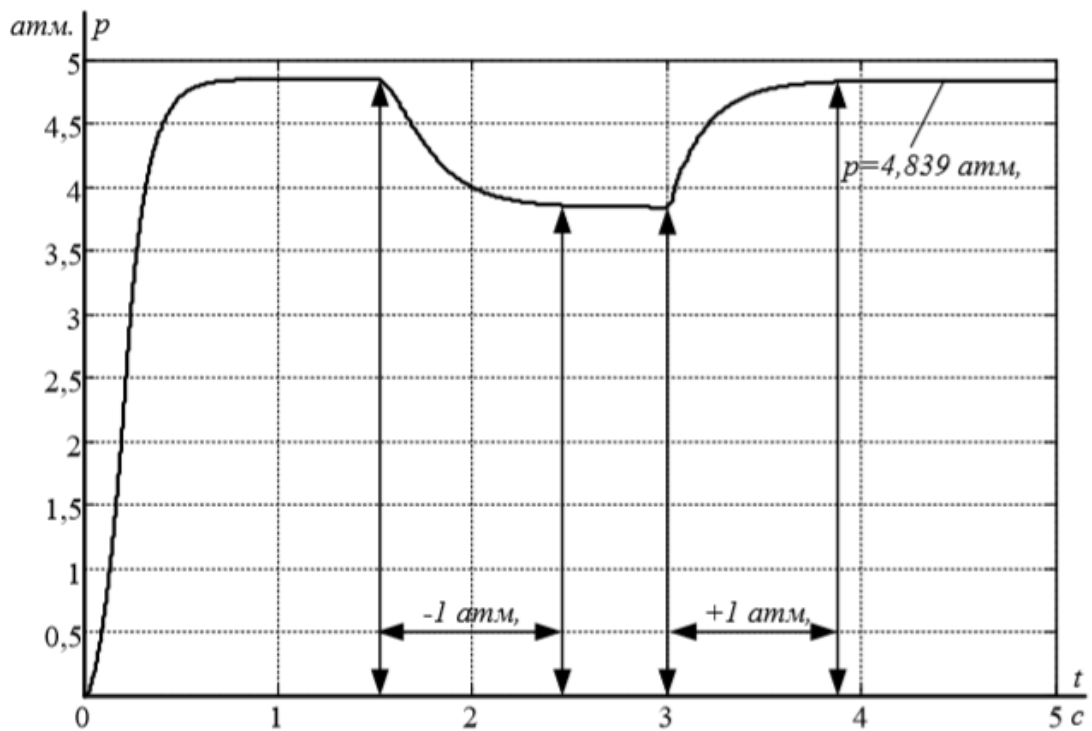


Рисунок 50 – Переходная характеристика давления насоса, при пуске и изменении давления на  $\pm 1$  атм.

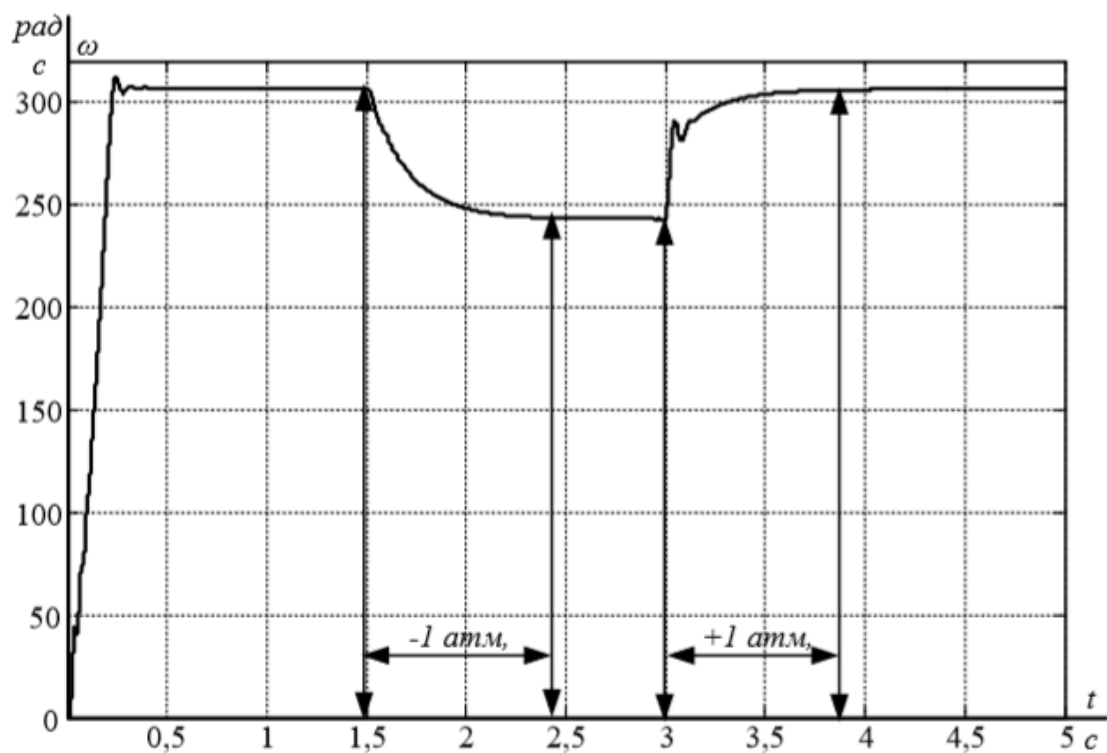


Рисунок 51 - Переходная характеристика скорости двигателя, при пуске и изменении давления на  $\pm 1$  атм.

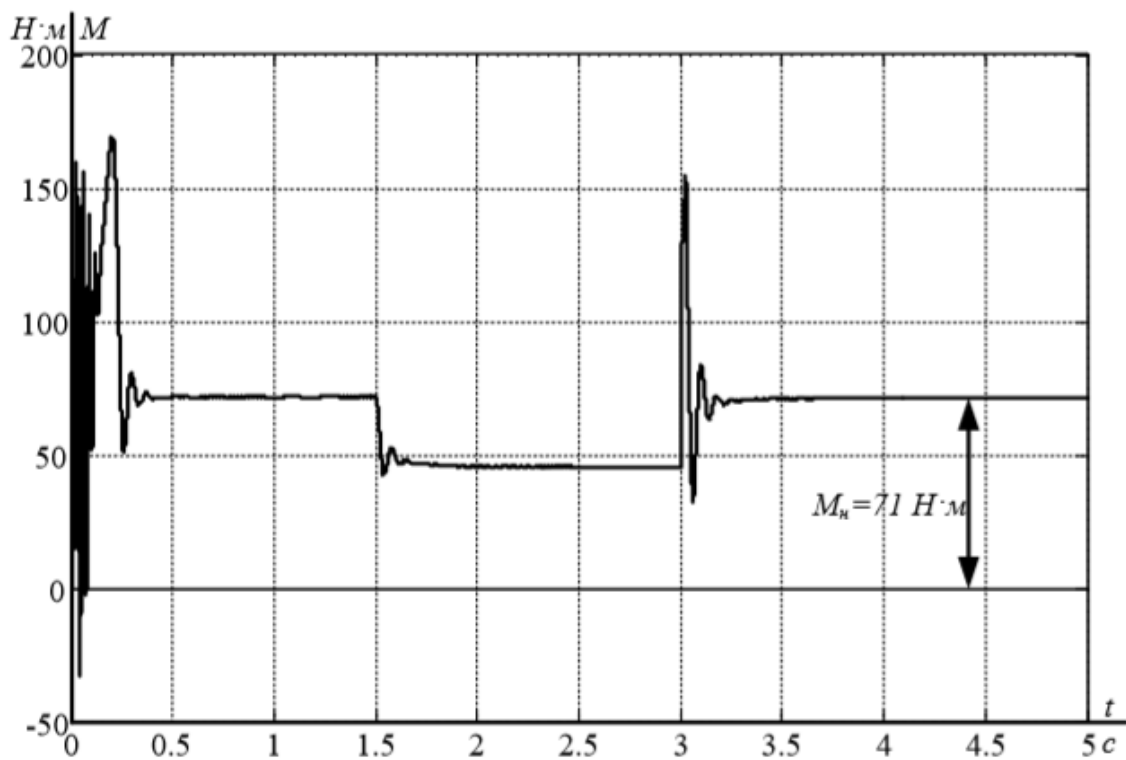


Рисунок 52 - Переходная характеристика электромагнитного момента двигателя, при пуске и изменении давления на  $\pm 1$  атм.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что система «преобразователь частоты – асинхронный двигатель – центробежный насос» работает адекватно и реагирует на различные изменения давления. Обладает астатизмом и достаточно быстро реагирует на изменение давления в контуре.

#### **4.2. Разработка алгоритма функционирования системы управления**

Основные требования, накладываемые на АСУ ТП, в максимальной степени должны обеспечивать необходимые функциональные возможности, желаемые технические характеристики технологического объекта управления (ТОУ):

1. ТП должен в полной мере обеспечивать все необходимые функции, накладываемые на него технологией производства: поддержание необходимого давления;
2. АСУ ТП должна обеспечивать ручной режим управления с пульта насоса;
3. АСУ должна обеспечивать точность управления ТП, наибольшую точность измерения величины выходного сигнала и высокую производительность;
4. АСУ ТП должна обеспечивать необходимую защиту и блокировки технологического оборудования от аварийных ситуаций, а также, сигнализацию и обнаружение наступления опасных (предаварийных) ситуаций;
5. Надежность АСУ ТП (способность системы выполнять свои функции, сохраняя эксплуатационные показатели в установленных пределах в течение заданного интервала времени при заданных условиях эксплуатации).

Степень достижения поставленных целей определяется критерием управления, т.е. показателем, характеризующим качество ведения ТП и принимающего числовые значения в зависимости от вырабатываемых системой управляющих воздействий, производительностью ТОУ при

заданном качестве выходного процесса. Цепь управления должна обеспечивать максимальную точность управления. Все элементы цепи управления: регуляторы физических величин (регуляторы тока, скорости, давления), регулятор на входе электропривода, формирующий управляющее воздействие, устройства получения информации о состоянии ТП (датчик давления) и остальные информационные и управляющие устройства должны быть отстроены, согласно своим функциям и параметрам сигналов. Это условие позволит получить наибольшую точность управления и в полном объеме обеспечить заданный технологический процесс, с максимальной производительностью.

После запуска системы происходит ввод параметров ее работы. Это давления подачи воды, скорость вращения насоса и т.д. После этого происходит проверка готовности системы к работе с заданными параметрами. Начинается проверка работоспособности оборудования, наличие связи между ПК и контроллером, контроллером и устройствами нижнего уровня и т.д.

Если по каким-то причинам система не готова к работе, то происходит их выяснение и устранение. Если после проверки не удалось устранить причину неисправности, происходит остановка системы. После положительной проверки работоспособности всех компонентов происходит запуск привода насоса Н1 (контактор КМ1 замыкается). Далее, если кнопка стоп нажата, например, по какой-либо не исправности, то происходит останов насоса, и соответственно, если кнопка стоп не нажата, то насос продолжает работу и происходит измерение давления датчиком давления. Если давление соответствует установленному, то происходит вращение насоса с установившейся скоростью, если давление не соответствует установленному, и скорость максимальна, то происходит переключение питания двигателя М1 с выхода ПЧ на сеть (размыкается контактор КМ1 и замыкается контактор КМ3), а к выходу ПЧ коммутируется (замыкается контактор КМ2) двигатель М2 и частота вращения увеличивается до требуемого значения. Если скорость

не максимальна, то происходит изменение скорости вращения насоса, и процесс повторяется.

Схема алгоритма работы АСУ ТП представлена в приложении В.

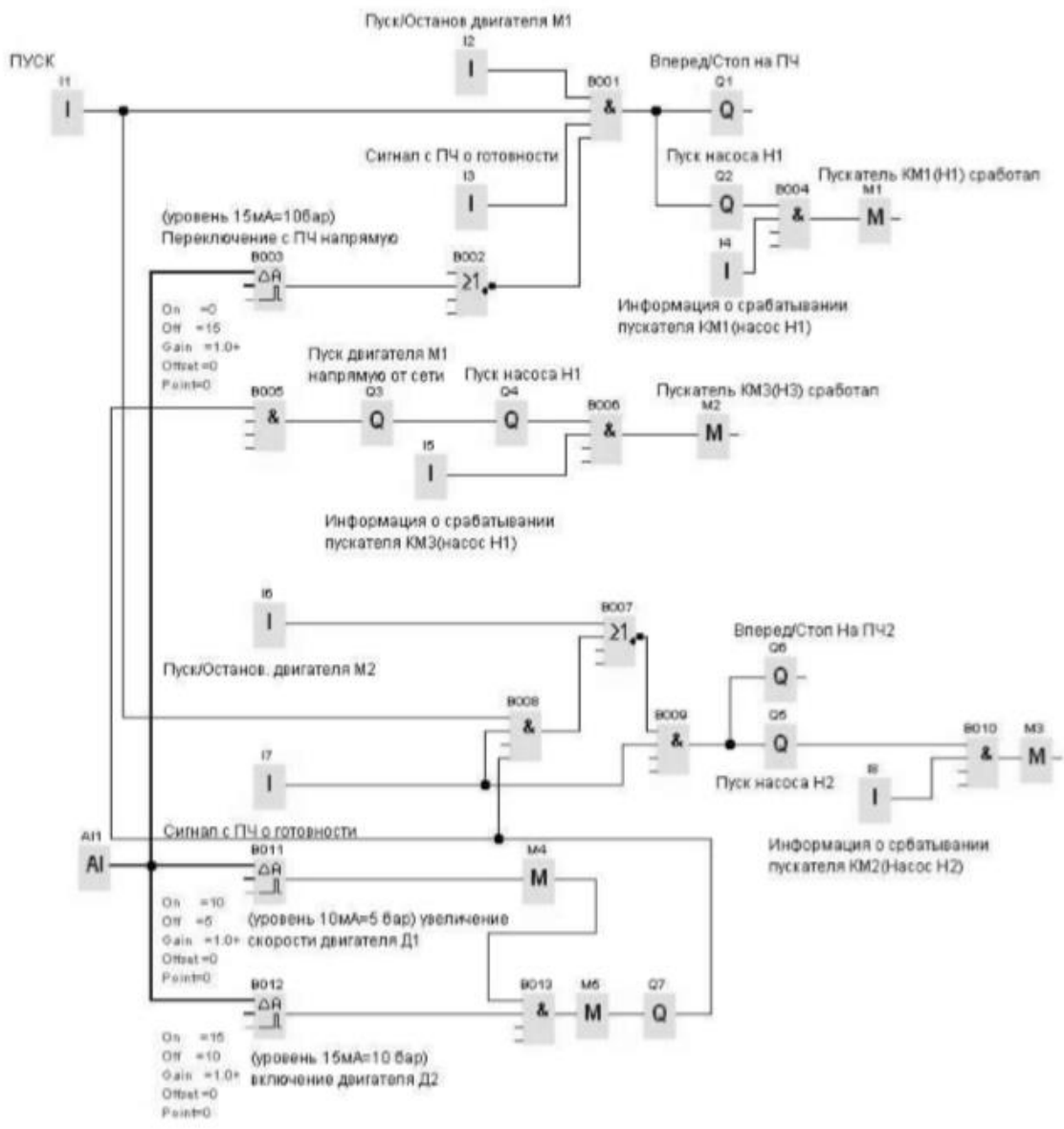
#### **4.3. Поэтапная реализация технологического процесса в программе**

##### **Logo! Soft Comfort v7.0**

Исходное состояние системы: Кнопка Пуск отключена контакторы КМ1, КМ2 разомкнуты, датчик давления в положение 0, на выходах нет сигналов. При нажатии кнопки «пуск» I2, сигнал поступает на В001(И) и В002(И). Для запуска насоса Н1 на В001(И) также поступает сигнал о готовности ПЧ I6 и сигнал на включение двигателя Д1, только при совокупности этих сигнал запустится насос. Выходы Q1, Q3 показывают информацию о работе преобразователя частоты ПЧ и запуск насоса Н1, а I3 сигнализирует о срабатывании контактора КМ1. Далее при несоответствии давления заданного с давлением установившемся (определяем по датчику давления), ПЧ увеличивает скорость двигателя М1 – сигнал с датчика приходит на В005(И), и увеличение скорости наблюдается на блоке М3. Далее происходит автоматическое включение насоса Н2 при следующем увеличении давления, поступает сигнал на В006, на выход Q5 и далее на В002(И), куда также входит сигнал о готовности ПЧ, далее В008 (ИЛИ) и при совокупности двух сигналов на В009(И) – насос Н2 запускается, об этом свидетельствуют выходы Q2 и Q4, а М2 сигнализирует о срабатывании контактора КМ2. Запуск насоса Н2 возможен не только по датчику давления, а просто при нажатии I4 и наличии сигнала готовности от ПЧ I7. При этом на В013 поступает сигнал о повышении давления, и он переключает питание двигателя М1 с выхода ПЧ на сеть.

Схема технологического процесса насосной станции, смоделированная в программной среде Logo! Soft Comfort v7.0 представлена на рисунке 53.





## **5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Целью данного раздела работы является экономическое обоснование исследования системы управления электродвигателя насоса.

Задачи раздела: провести анализ конкурентных технических решение, спланировать научно – исследовательскую работу и определить расходы на проектирование.

Область возможного применения: водоснабжение и канализация муниципальных и промышленных сооружений, частных домовладений.

### **5.1 Анализ конкурентных технических решений**

Данный анализ помогает методом сравнения оценить сильные и слабые стороны рассматриваемых центробежных насосных установок, чтобы наиболее обосновано выбрать установку для дальнейшего проектирования. Наиболее часто один вариант не может обладать сразу всеми техническими и экономическими показателями в высшей степени, поэтому данный анализ позволяет выбрать тот вариант, который в целом обладает наивысшей конкурентоспособностью.

Для того чтоб провести оценку конкурентоспособности нужно рассмотреть три вида наиболее конкурентоспособных двигателей это:

- асинхронный электродвигатель (А);
- параметрический электродвигатель (П);
- особо параметрический (ОП).

Сравнение характеристик выбранных электродвигателей представлено в оценочной карте. Оценочная карта представлена в Таблице 18.

Таблица 18 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		А	П	ОП	А	П	ОП
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Мощность при 50 и 60 Гц (А)	0,35	5	5	5	1,75	1,75	1,75
Номинальное напряжение при 50 и 60 Гц (Б)	0,25	5	3	4	1,25	0,75	1
Номинальный ток (В)	0,20	3	4	5	0,6	0,8	1
КПД (Г)	0,20	4	5	3	0,8	1	0,6
Наличие плавного пуска (Д)	0	3	3	5	0	0	0

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таблица 19 – Определение коэффициента весомости по методу парного сравнения

Оцениваемые параметры	Оцениваемые параметры					$\Sigma$ , расчет веса критерия
	А	Б	В	Г	Д	
А	-	1	2	2	2	7/20=0,35
Б	1	-	1	1	2	5/20=0,25
В	0	1	-	1	2	4/20=0,20
Г	0	1	1	-	2	4/20=0,20
Д	0	0	0	0	-	0/20=0
ИТОГО:	1	3	4	4	8	20

Пояснения к таблице:

А – Мощность;

Б – Номинальное напряжение;

В – Номинальный ток;

Г – КПД;

Д – Наличие плавного пуска.

Пример расчета конкурентоспособности:

$$K = 0,35 \times 5 = 1,75$$

Расчет конкурентоспособности по всем техническим критериям оценки:

$$K(A) = 1,75 + 1,25 + 0,6 + 0,8 + 0 = 4,4$$

$$K(\Pi) = 1,75 + 0,75 + 0,8 + 1 + 0 = 4,3$$

$$K(ОП) = 1,75 + 1 + 1 + 0,6 + 0 = 4,35$$

В ходе результата анализа конкурентных технических решений можно сделать вывод, что наибольшим преимуществом обладают Асинхронные погружные электродвигатели, так как выигрывает по цене, габаритам, номинальному напряжению.

## **5.2. Планирование научно-исследовательских работ**

В данном разделе необходимо определить основные виды работ, назначить участников для каждой работы, рассчитать время, требуемое для выполнения каждой работы и в конце построить график проведения научного исследования.

### **Структура работ в рамках научного исследования**

В таблице 20 представлены основные виды работ с указанием содержания, а также распределены исполнители. В качестве исполнителей выступают инженер и руководитель темы.

Таблица 20 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Описание объекта проектирования	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Расчет и выбор силового оборудования	Инженер
	6	Выбор преобразовательного устройства	Инженер
	7	Выбор аппаратуры управления и защиты	Инженер
	8	Расчет статических и динамических характеристик	Инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Разработка технической документации и проектированию	10	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

### 5.3. Определение трудоёмкости работ

Определение трудоёмкости выполняемых работ зависит от множества факторов. Учет всех факторов практически невозможен, поэтому используется ожидаемая трудоёмкость, рассчитываемая по формуле (1).

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (1)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоёмкость выполнения какой-либо работы;

$t_{mini}$  – минимальная трудоёмкость при выполнении какой-либо работы.

$t_{\max i}$  – максимальная трудоёмкость при выполнении какой-либо работы.

После этого определяем продолжительность какой-либо работы в рабочих днях  $T_{pi}$ .

$$T_{pi} = \frac{t_{ожіi}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность работы в рабочих днях;

$t_{ожіi}$  – ожидаемая трудоёмкость выполнения какой-либо работы;

$Ч_i$  – количество исполнителей, которые выполняют одну и ту же работу на данном этапе.

Рассчитанная ожидаемая трудоёмкость каждой из работ по проектированию приведена в таблице 4.

#### 5.4. Разработка графика проведения научного исследования

Для построения графика Ганта будем использовать не рабочие дни, а календарные. Перевод из рабочих дней в календарные осуществляем по формуле (3).

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности учитывает количество выходных и праздничных дней и рассчитывается по формуле (4):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году ( $T_{\text{кал}} = 365$ );

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году ( $T_{\text{вд}} = 52$ );

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году ( $T_{\text{пд}} = 14$ ).

Значения для каждой работы представлены в таблице 21.

Пример расчета для инженера (подбор и изучение материалов по теме):

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел} - \text{дней};$$

$$T_p = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня};$$

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22;$$

$$T_k = 2 \cdot 1,22 = 2,44 \approx 3 \text{ дня}.$$

Таблица 21 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ож}$ , чел-дни		$T_{pi}$		$T_{ki}$	
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	1		2		2		2		3	
Подбор и изучение материалов по теме		3		6		5		5		6
Описание объекта проектирования		4		6		5		5		6
Календарное планирование работ по теме	3		4		4		4		5	
Расчет и выбор силового оборудования		5		8		7		7		9

Выбор преобразовательного устройства		6		9		8		8		10
Выбор аппаратуры управления и защиты		3		6		5		5		6
Расчет статических и динамических характеристик		7		9		8		8		10
Оценка эффективности полученных результатов	1		2		2		2		3	
Составление пояснительной записки		2		3		3		3		4

На основании таблицы 21 строим график Ганта.

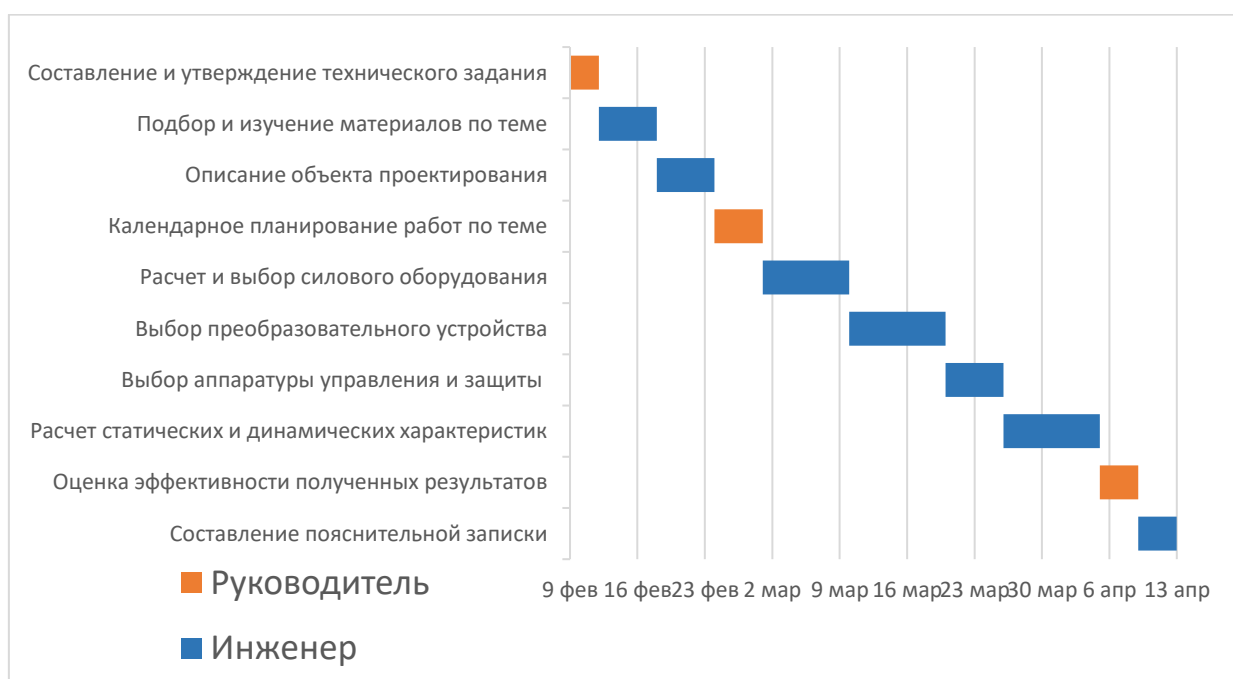


Рисунок 54 – Календарный план-график поведения НИИ

Итого длительность работ в календарных днях руководителя проекта равняется 11 дней, а инженера 51 день.

### 5.5. Смета научно-технического исследования (НИИ)

Смета научно-технического исследования складывается из следующих статей расходов:



- материальные расходы;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- страховые взносы во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

### Материальные расходы

Стоимость материалов, используемых при разработке данного проекта, приведена в таблице 22.

Таблица 22 – Материальные затраты на выполнение научного исследования

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага для принтера	упаковка	1	250	250
Ручки, карандаши	штук	3	50	150
Степлер	штук	1	120	120
Скоросшиватели	штук	1	80	80
Распечатка	лист	60	2	120
<b>Итого:</b>				<b>720</b>

Таким образом материальные затраты на выполнение данного научно-технического исследования составляют 720 рублей.

### Основная заработная плата

Расчет месячного должностного оклада работника производится по формуле (5):

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p \quad (5)$$

где  $Z_{mc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (30% от  $Z_{mc}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в научном исследовательском институте за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от  $Z_{mc}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (6):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m}{26} \quad (6)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле (7):

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (7)$$

где  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, рабочих дней;

В состав заработной платы входит основная заработная плата всех участников научного исследования, а также дополнительная заработная плата, которая составляет 12 – 20 % от основной заработной платы (8):

$$Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (8)$$

Пример расчета для руководителя:

$$Z_m = 15000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 29250 \text{ руб.},$$

$$Z_{дн} = \frac{29250}{26} = 1125 \text{ руб.},$$

$$Z_{осн} = 1125 \cdot 8 = 9000 \text{ руб.},$$

$$Z_{зн} = 9000 + 1350 = 10350$$

Таблица 23 – Расчёт заработной платы

Исполнители	$Z_{mc}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{доп}$ , руб.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	15000	0,3	0,2	1,3	29250	1125	8	1350	9000
Инженер	15000	0,3	0,2	1,3	29250	1125	41	6918,75	46125
<b>Итого</b>									<b>55125</b>

## Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата – это различные доплаты и выплаты работнику, предусмотренные Трудовым кодексом РФ. Например, доплаты за отклонение от нормальных условий труда.

Дополнительная заработная плата рассчитывается с помощью коэффициента  $k_{\text{доп}}$  по формуле (9):

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (9)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15),

Расчет:

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 9000 = 1350 \text{ руб (для руководителя),}$$

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 46125 = 6918,75 \text{ руб (для инженера)}$$

## Страховые взносы во внебюджетные фонды

Данная статья расходов включает в себя обязательные страховые взносы по установленным законодательством Российской Федерации нормам во внебюджетные фонды. К внебюджетным фондам относятся: фонд социального страхования (ФСС), пенсионный фонд (ПФ), федеральный фонд обязательного медицинского страхования (ФФОМС).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы (10):

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (10):$$

Где,  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Расчет:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (9000 + 1350) = 3105 \text{ руб (руковод.)}$$

$$Z_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (46125 + 6918,75) = 15913 \text{ руб (инж.)}$$

Где,  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2017 г. установлен размер страховых взносов равный 30%.

Таблица 24 – Страховые взносы во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	9000	1350
Инженер	46125	6918,75
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Итого		
Руководитель	3105	
Инженер	15913	

### Накладные расходы

Накладные расходы – это затраты, которые не попали в предыдущие статьи расходов. К ним относят: оплата электроэнергии, услуги связи, печать и ксерокопирование материалов и т.д. Величина накладных расходов определяется с учетом коэффициента  $k_{нр}$  по формуле (11):

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} = (Z_{м} + Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб} + A) \cdot k_{нр} \quad (11)$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы (16%).

Расчет:

$$Z_{накл} = (720 + 55125 + 8268,75 + 19018 + 3310,7) \cdot 0,16 = 19288 \text{ руб.}$$

### 5.6. Формирование сметы затрат научно-исследовательского проекта

После того как рассчитаны все статьи затрат научно-исследовательского проекта, можно сформировать окончательную смету затрат НИИ.

Структура сметы затрат научного исследования представлена в таблице 25

Таблица 25 – Смета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
Материальные расходы	720	0,5
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	55125	56,3

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	8268	8,5
Страховые взносы во внебюджетные фонды	19018	19,5
Накладные расходы	19288	15,2
Смета затрат НТИ	100765	100,0

В ходе выполнения всех поставленных задач была произведена оценка конкурентоспособности трёх различных электродвигателей. В результате данного анализа был выбран наиболее конкурентоспособный вариант, которым является асинхронный электродвигатель, т.к. выигрывает по цене, габаритам, номинальному напряжению.

Также было осуществлено планирование работ, находящихся в рамках данного научного исследования, определены временные рамки и трудоемкость работ каждого из участников и составлен ленточный график проведения их работ в форме диаграммы Ганта. По результатам расчетов было установлено, что длительность работ для руководителя составляет 8 рабочих дней, а для инженера 41 рабочий день. Общая смета проекта НТИ составила 100765,45 рубля, которая складывается из расходов на заработную плату работников (63393,75 руб.), страховые взносы во внебюджетные фонды (19018 руб.), материальные расходы (720 руб.), и накладные расходы (19288 руб.).

При использовании выбранного асинхронного электродвигателя повышается эффективность работы за счет уменьшения общего расхода на оборудование, повышения надежности и обеспечения безотказной, длительной работы.

## **6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Целью разработки настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи и профессиональные заболевания в производстве, обеспечивающих снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях, экономное расходование ресурсов.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICCSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

### **6.1 Анализ вредных факторов**

Часть технологического процесса исследования и проверки электропривода насосного агрегата основана на работе с двигателем, который в свою очередь является источником повышенного уровня шума, что является вредным фактором производственной среды [14]. Чтобы уменьшить влияние шума, можно применять различные меры такие как: замена подшипников качения на подшипники-скольжения, проверка и своевременная замена смазочных материалов у подшипников. Но такие меры слишком затратные и трудоемкие. Поэтому также возможно использовать различные ограждения из звукопоглощающих материалов и отдельных частей установки для снижения уровня шума.

Опасность может представлять повышенный уровень вибрации, который возникает во время работы исследуемого двигателя при нагрузках выше номинальной. Для избегания влияния вибраций на человека необходимо провести мероприятия на основании [15], а именно, жесткая фиксация рабочих механизмов на своих местах с использованием виброгасящих материалов.

Следующий вредный фактор – недостаток естественного света [13], при работе в условиях недостаточной освещённости, связанным с временем суток и погодными условиями. Пониженная контрастность в взаимодействии с плохой освещенность является наиболее опасным для зрительных органов

работника и может привести к травмам, при работе с движущимися частями установки. Простым решением для снижения риска является покраска отдельных частей установки в различные отчетливо видные цвета.

### 6.1.1 Шум

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Основные производственные процессы, сопровождающиеся шумом — это работа насосов, вентиляторов и др. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности.

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются[28]:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Таблица 26 - Предельно допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) применяются в том случае, если другими способами обеспечить допустимый уровень шума на рабочем месте не удастся. Принцип действия СИЗ – защитить наиболее

чувствительный канал воздействия шума на организм человека – ухо. Применение СИЗ позволяет предупредить расстройство не только органов слуха, но и нервной системы от действия чрезмерного раздражителя. Наиболее эффективны СИЗ, как правило, в области высоких частот. СИЗ включают в себя противозумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы и каски, специальные костюмы.

### **6.1.2 Вибрация**

Одним из наиболее опасных для человеческого организма производственных факторов является вибрация. Под вибрацией понимается колебание твёрдых тел.

Большое негативное воздействие этот фактор оказывает на отделы центральной нервной системы, желудочно-кишечного тракта и вестибулярного аппарата человека. Длительное воздействие вибрации на организм приводит к развитию профессиональных заболеваний, основным из которых является – виброблезнь, сопровождающаяся головокружением, онемением нижних конечностей и потерей ориентации в пространстве.

Большую опасность для организма представляют вибрации частотой 6-9 Гц, так как эти частоты наиболее близки к собственным частотам внутренних органов человека. Совпадение частоты вибрации и внутреннего органа приведёт к резонансному явлению, в результате чего начнётся процесс разрушения.



Таблица 27 – Санитарные нормы вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	*Предельно допустимые значения по осям $X_{д}, Y_{д}, Z_{д}$			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с <sup>2</sup>	дБ	м/с·10 <sup>-2</sup>	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109
1000	89,0	159	1,4	109
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	2,0	126	2,0	112
* Работа в условиях воздействия вибрации с уровнями, превышающими настоящие санитарные нормы более чем на 12 дБ (в 4 раза) по интегральной оценке или в какой-либо октавной полосе, не допускается.				

Для виброзащиты применяются средства индивидуальной защиты для рук, ног и тела оператора. В качестве средства защиты для рук применяются рукавицы и перчатки, вкладыши и прокладки по ГОСТ 12.4.005 "Система стандартов безопасности труда [26]. Средства защиты рук от вибрации. Санитарные требования и методы испытаний".

Виброзащитная обувь изготавливается в виде сапог, полусапог, в конструкции низа которых используется упругодемпфирующий материал (ГОСТ 12.4.026 "Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная виброзащитная. Общие санитарные требования") [27].

### 6.1.3 Недостаток естественного света

Согласно научным исследованиям, отсутствие или недостаток естественного освещения на рабочем месте может вызвать ухудшение самочувствия, привести к потере сна и ослаблению здоровья. Специалисты

полагают, что причина отрицательного воздействия может заключаться в изменении циркадных ритмов из-за недостатка естественного света. Поэтому следует уделять большее внимание достаточному дневному освещению для укрепления здоровья и морального состояния работников.

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях отсутствия естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда. В их число входят следующие:

- улучшение условий путем использования искусственного освещения;
- защита временем, то есть сокращение продолжительности пребывания работников в помещении без естественного освещения;
- профилактическое ультрафиолетовое облучение работников. В этом случае источники ультрафиолетового излучения устанавливают рядом с обычными осветительными лампами, за счет чего достигается обогащение обычного искусственного освещения ультрафиолетовым излучением.

При недостатке естественного освещения в помещениях также возможно принятие следующих мер:

- анализ степени загрязненности стекол в светопроемах, их очистка и дальнейшие контрольные измерения коэффициента естественной освещенности, который показывает, какая часть наружного освещения попадает на рабочие места производственного помещения;
- при наличии в помещении зон с недостаточным и достаточным уровнем естественного освещения изменение размещения рабочих мест с их переносом в зону с достаточным уровнем естественного освещения;
- косметический ремонт помещения с применением светлых отделочных материалов.

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов - от наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса.

Таблица 28 - нормируемые значения КЕО

Характеристика выполняемой зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Значение КЕО в при естественном освещении, %	
			верхнем и комбинированно м	боковом
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	10	3,5
Очень высокой точности	0,15 ... 0,30	II	7	2,5
Высокой точности	0,3 ... 0,5	III	5	2,0
Средней точности	от 0,5 до 1,0	IV	4	1,5
Малой точности	от 1 до 5	V	3	1,0
«Грубая работа»	Более 5	VI	2	0,5
Работа с самосветящимися материалами и изделиями в горячих цехах		VII		
Общие наблюдения за ходом производственного процесса:		VIII		
постоянное наблюдение	-	VIIIa	1	0,3
периодическое при постоянном пребывании людей в помещении		VIIIб	0,7	0,2
периодическое при периодическом пребывании людей в помещении		VIIIв	0,5	0,1

К числу источников света массового применения относятся лампы накаливания, лампы ДРЛ, люминесцентные лампы.

Лампы накаливания применяются там, где проводятся грубые работы, или осуществляется общий надзор за эксплуатацией оборудования. Кроме того, предпочтение лампам накаливания отдается во взрыво- и пожароопасных помещениях, в сырых помещениях, в помещениях с химически активной средой.

Основным источником света, как для общего, так и для комбинированного освещения, являются люминесцентные лампы: АД4, ЛД, ЛХБ, ЛБ, ЛТБ. Из них наиболее экономичными являются лампы типа ЛБ.

Характеристика выполняемой зрительной работы для проекта относится к классу высокой точности, где наименьший объект различия от (0,3 до 0,5 мм) в связи с этим значение КЕО при естественном освещении 2%.

#### 6.1.4 Микроклимат

Помещение цеха характеризуется:

- наличием большого количества металлического оборудования;
- повышенной температурой.

Таблица 29 - Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
		По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88
Холодный	Средней тяжести	17 – 19	40 – 60	0,3
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20 – 22	40 – 60	0,2 – 0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1), следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СНиП 2.04.05 – 91\* (28.11.91) установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией; Предусмотренные мероприятия обеспечивают параметры микроклимата в соответствии с нормами, представленными в таблице 26.

В соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1) значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются, для рабочей зоны производственных помещений, в зависимости от категории тяжести выполняемой работы, величины явного избытка тепла, выделяемого в помещении и периода года.

## **6.2. Анализ опасных факторов**

Проведем анализ опасных производственных факторов в вышеописанном технологическом процессе исследования и проверки двузонного электропривода постоянного тока. Основным опасным фактором является возможность поражения человека электрическим током, так как работа производится с рабочими электрическими установками, в частности двигателями. Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [16 - 19].

Следующая опасность заключается в том, что работа проводится с рабочим двигателем, соответственно вал двигателя находится в движении, что может привести к механическим повреждениям частей тела человека. Однако, благодаря конструкции двигателей, опасность представляют лишь выходные концы валов и места соединений. Для снижения риска устанавливают кожухи или защитные экраны в местах открытых движущихся механических частей.

### **6.2.1 Электропоражение**

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно

правилам устройства электроустановок (ПУЭ), рассмотреть следующие вопросы:

- а) обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- б) требования к электрооборудованию;
- в) анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;
- г) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;
- д) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Рассматриваемая лаборатория не имеет характеристик, свойственных особо опасным помещениям в части поражения электрическим током. Необходимо применение основных коллективных способов и средств электрозащиты: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защитное заземление и защитное отключение.

Также, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000 В используются диэлектрические перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

С учетом условий производственной среды все помещения делят на три класса по степени поражения людей электрическим током. Эта классификация приведена в таблице 30

Таблица 30 – Классификация помещений по степени поражения людей электрическим током

Вид помещения	Характеристика помещения
Без повышенной опасности	Сухие, беспыльные, с нетоковедущими полами, с нормальной температурой воздуха
С повышенной опасностью	Наличие одного из факторов, обуславливающих повышенную опасность: сырые; жаркие; наличие токопроводящих полов; возможность одновременного прикосновения человека к металлическим конструкциям здания или оборудования
Особо опасные	Наличие одного из факторов, обуславливающих особую опасность: наличие химически агрессивной среды, разрушающей изоляцию и токоведущие части электроустановок; особая сырость; наличие двух или более факторов, характерных для помещений с повышенной опасностью

У выбранного нами помещения класс повышенной опасности, т.к. помещение является влажным, т.е. относительная влажность длительно превышает 75 %, при этом выделение паров и влаги происходит кратковременно;

### 6.2.2 Загорание (пожар)

Пожары – неконтролируемый процесс горения, которые чреватые большими материальными издержками, а часто и человеческими жертвами.

Обеспечение пожаробезопасности начинается с определения класса взрывоопасной зоны или класса пожароопасной зоны данного производственного помещения. Согласно классификации производств по пожарной опасности (ППБ-03) рассматриваемая лаборатория относится к классу В (обработка или применение твердых сгораемых веществ и материалов, а также жидкостей с температурой выше 120 градусов): электроизоляция, бумага, мебель. Т.е. технологический процесс в лаборатории исключает взрывоопасную зону, имеющиеся вещества могут только гореть. Лаборатория имеет пожароопасную зону класса П-2а. Минимальная допустимая степень защиты оболочек электрических машин для данной пожароопасной зоны обозначается IP44. Использование данной степени защиты – одно из направлений профилактики, оно должно быть установлено на объектах, где воздействие опасных факторов пожара может привести к травматизму или гибели людей, этого требует «технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Лаборатория оснащена такой системой с дымовыми извещателями. Сигналы извещателей включают систему протоколирования информации, формируют управляющую систему тревоги и систему оповещения о пожаре, для своевременной эвакуации людей. Это другое направление профилактики загораний.

Выбор типа и расчет необходимого числа огнетушителей производится в зависимости от их огнетушащей способности. Из пяти таких классов, лаборатории подходит класс А (пожар твердых веществ) и класс Е (горение электроустановок). Согласно [20] на 800 м<sup>2</sup> защищаемой площади рекомендуется использовать восемь двухкилограммовых порошковых огнетушителей. Для лаборатории достаточно одного двухкилограммового огнетушителя ОП.

### **6.3 Защита окружающей среды**

Работа в лаборатории сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.



Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения - ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения; бытовая пыль; ЛОС, выделяющиеся в процессе эксплуатации отделочных материалов, лакокрасочных покрытий мебели и др. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014) [21]: бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [22]. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность

целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцовокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцовокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из неабсорбирующего ртути материала (винипласта).

К сфере защиты ОС и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электротепловую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и электроустановок (котельных) промпредприятий города Томска и области и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Несмотря на кажущуюся малость такого вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

#### **6.4 Предотвращение ЧС и устранение их последствий**

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации на рассматриваемом рабочем месте в механическом цехе: возникновение пожара и электропоражение.

##### **6.4.1 Пожар (загорание) – как источник ЧС**

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Согласно [23], пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно-техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м<sup>3</sup>[29].

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действия администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

#### **6.4.2 Электропоражение как источник ЧС**

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение

изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [24] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [25] п.413.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением при пробое изоляции или в других случаях, необходимо рассчитать и установить защитное заземление.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был исследован технологический процесс водоснабжения жилых домов, а также рассмотрены возможности насосных станций. На основе вводных данных выполнен выбор электродвигателя, насосного агрегата, преобразователя частоты, релейно-контакторной аппаратуры, системы защит, и логического контроллера. Были рассчитаны и построены механические и электромеханические характеристики асинхронного двигателя для закона  $\frac{U}{f^2} = const$ .

Для изучения системы автоматического водоснабжения была синтезирована имитационная модель асинхронного электропривода насоса с учётом рассчитанных данных. Исследование режимов работы модели и оценка её адекватности выполнены в среде моделирования MatLab.

Системы скалярного управления имеют несколько преимуществ перед другими системами: простота, надёжность, требуется минимум информации о двигателе, нет нужды в использовании датчиков скорости и положения ротора.

Полученные результаты работы модели в режиме поддержания давления свидетельствуют о корректности настройки технологического ПИ-регулятора.

В программной среде Logo! Soft Comfort была разработана и собрана модель технологического процесса насосной станции, которая позволила показать с помощью простых логических элементов, как работают схожие комплексы систем.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. Учебник для вузов. – М.: Издательство "Стройиздат", 1974. – 362 с.
2. [Электронный ресурс] Изобретение насоса URL: <http://referatsai.nugaspb.ru/istoriya-izobreteniya>(дата обращения 02.04.2018)
4. Репин Б. Н Водоснабжение и водоотведение. Наружные сети и сооружения Издательство: "М.: Высш. шк., 1995. – 473 с.
5. [Электронный ресурс] Типы насосов URL: <http://megabook.ru/article/asinhronnyu-elektroprivod>(дата обращения 20.04.2018)
6. [Электронный ресурс] Классификация насосов URL: [http://www.techgidravlika.ru/view\\_post.php?id=31](http://www.techgidravlika.ru/view_post.php?id=31)(дата обращения 12.04.2018)
7. [Электронный ресурс] Область применения насосов URL: <http://www.rimos.ru/p/products>(дата обращения 28.04.2018)
8. [Электронный ресурс] Параметры центробежных насосов URL: <https://www.isuct.ru/dept/chemkiber/piaht/edu>(дата обращения 1.05.2018)
9. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электродвигателях URL: [http://ekb.pulscen.ru/products/elektrodivigatel\\_air\\_5am\\_ad\\_4am\\_aim\\_160\\_s4\\_15\\_kvт\\_1500\\_ob\\_17310390](http://ekb.pulscen.ru/products/elektrodivigatel_air_5am_ad_4am_aim_160_s4_15_kvт_1500_ob_17310390)(дата обращения 6.05.2018)
10. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о насосе URL: <http://nasos.info/catalog.php?mode=view&id=6914>(дата обращения 6.05.2018)
11. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о контакторах URL: <http://realenergo.net/product/kontakторы-serii-ci-6-50prednaznachenу-dlja-raboty>(дата обращения 6.05.2018)
12. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об автоматических выключателях URL: <http://www.elektroportal.com/series/show/va-5735>(дата обращения 6.05.2018)
- 13.ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»

- 14.ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
15. ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»
- 16.Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
17. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т «Пожарная безопасность. Общие требования»
- 18.СП 9.13130.2009 «Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации»
- 19.Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.:Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
20. СНиП П-12-77. «Защита от шума»
21. СНиП 2.04. 05-91. «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
22. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
23. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. «Обучение работающих безопасности труда»
24. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Защитное заземление, зануление»
25. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»
26. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования»
27. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации и переработки бытовых и промышленных отходов»
28. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681«Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств»
29. ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения электрическим током».





## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица А.1 - Технические данные блока питания LOGO! Power 24В/4А

Номинальное входное напряжение, В	~100 ... 240
Номинальное выходное напряжение, В	=24
Входные цепи	
Номинальное входное напряжение $U_{\text{вх.ном}}$ , В	~100 ... 240; широкий диапазон входных напряжений
Допустимый диапазон изменения входных напряжений, В	~85 ... 264
Номинальное входной ток $I_{\text{вх.ном}}$ , А	1,95 ... 0,97
Выходные цепи	
Номинальное выходное напряжение $U_{\text{вых.ном}}$ , В	=24
Допустимые отклонения выходного напряжения:	$\pm 3 \%$
➤ статическая компенсация при изменениях входного напряжения	00,1 %
➤ статическая компенсация при изменении нагрузки	1,5 %
Номинальное выходной ток $I_{\text{вых.ном}}$ , А	4

Таблица А.2 - Сигналы цепи управления логического контроллера

Входы контроллера	Дискретные сигналы контроллера		Кол-во сигналов
	Информация о срабатывании контактора К1	Состояние контактора двигателя М1	1
	Информация о срабатывании контактора К2	Состояние контактора двигателя М2	1
	Информация о срабатывании контактора К3	Состояние контактора двигателя М1	1
	Сигнал готовности с ПЧ	ПЧ готов к работе	1
	Всего		4
	Аналоговые сигналы контроллера		Кол-во сигналов
	Давление	Аналоговый сигнал о давлении	1
	Всего		1
	Выходы контроллера	Дискретные сигналы контроллера	
На ПЧ		Сигнал на задание скорости М1	1
На ПЧ		Сигнал на задание скорости М2	1
На контактор К1		Пуск двигателя М1	1
На контактор К2		Пуск двигателя М2	1
На контактор К3		Пуск двигателя М1	1
Всего		5	

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Схема алгоритма работы АСУ ТП

