

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

Институт Электронного обучения
Специальность Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений
Кафедра Электропривода и электрооборудования

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы
Электрооборудование агрегата перекачки топлива

УДК 621.31: 621.671

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3 - 7401	Моисеев Александр Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бурулько Л.К.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Трофимова М.Н.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин А.А.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Дементьев Ю. Н.	к.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломного проекта

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-7401	Моисееву А.В.

Тема работы:

Электрооборудование агрегата перекачки топлива

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№2399/с от 28.03.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:

5. 05. 2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <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>Объектом проектирования является электрооборудования электронасосного агрегата «А1СЦН». Исходными данными являются: подача-90, м³/ч., напор-80, м. Сеть трёхфазная, 380 ± 10% В, 50 ± 1Гц.; Режим работы электропривода продолжительный, нагрузка реактивная, диапазон регулирования D=1: 10. Погрешность поддержания заданной частоты вращения ротора не более 10 % на нижней рабочей скорости.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>При проектировании и разработке электрооборудования электронасосного агрегата необходимо: Из анализа литературных источников сформировать требования к системам электрооборудования электронасосных агрегатов, провести расчет максимальной потребляемой мощности, расчет и выбор элементов системы электрооборудования. Выбор блока управления электроприводом. Привести общую принципиальную схему системы электрооборудования электропривода электронасосного агрегата. В специальной части провести исследование неисправностей системы электрооборудования, Разработать разделы по технологической, экономической частям и рассмотреть вопросы экологии и техники безопасности.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Электрическая принципиальная схема электрооборудования электропривода центробежного насоса, структурная схема электропривода и его характеристики, технологическая карта по поиску неисправностей в системе электрооборудования.</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Основной обций и специальный разделы ВКР	Руководитель дипломной работы Бурулько Л.К.
Экономическая часть ВКР	Трофимова М.Н.
Раздел экология и техника безопасности	Сечин А.А.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Основная и специальная части, экономическая часть и раздел экология и техника безопасности – русский язык

Должно быть написано на русском и иностранном языке. Заключение – иностранный язык

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25. 01 . 2016 г.
--	------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф ЭПЭО	Бурулько Л.К.	Доцент, к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7401	Моисеев А.В		

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

Институт	Институт электронного обучения
Направление подготовки (специальность)	Электрооборудование и электрохозяйство организаций и учреждений
Уровень образования	Специалисты
Кафедра	ЭПЭО
Период выполнения	(весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Студенту:

Группа	ФИО
3-7401	Моисеев Александр Владимирович

Тема работы:

Расчет защитного заземления электронасосного агрегата	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	

Форма представления работы:

<i>Дипломный проект (работа)</i> (бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

ЗАДАНИЕ

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	<p><i>1. Описание рабочего места электромонтера по обслуживанию электрооборудования на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы,) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу) -- чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) <p><i>2. Знакомство с законодательными и нормативных и документов по теме</i></p>
--	--

<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке</p>	<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - физико – химическая природа фактора, его связь с раз – работываемой темой; - действие фактора на организм человека ; - приведение допустимых норм с необходимой размер – ностью (с ссылкой на соответствующий нормативно – технический документ); -- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) <p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> -- механические опасности (источники, средства защиты) -- электробезопасность (в т.ч. статическое электричес – тво, молниезащита - источники, средства защиты); -- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактичес – кие мероприятия, первичные средства пожаротушения); <p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); <p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - перечень возможных ЧС на объекте; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
<p>Перечень расчётного и графического материала</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Расчет защитного заземления электронасосного агрегата; - схема контура защитного заземления

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин А.А.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3 7401	Моисеев А.В.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3 - 7401	Моисеев Александр Владимирович

Институт	Электронного обучения	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	140610 «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Сравнение экономической эффективности привода
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Расчет капиталовложений
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Расчет затрат на проектирование

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	Расчет годовых эксплуатационных затрат
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	Годовые затраты на обслуживание и ремонт
3. <i>Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР</i>	
4. <i>Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков</i>	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Гистограмма затрат.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Трофимова М.Н.	Доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7401	Моисеев Александр Владимирович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 113 страниц, 33 рисунка, 21 таблица, 24 источника.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, скалярное управление, насосный агрегат, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, преобразователь частоты.

Объектом исследования является частотно-регулируемый электропривод переменного тока электронасосного агрегата.

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование электрооборудования и асинхронного электропривода насосного агрегата.

В результате исследования была разработана системы регулирования насосного агрегата и защит.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью программ MATLAB, Mathcad 14, в текстовом редакторе MS Word и представлена на компакт - диске (в конверте на обороте обложки).

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	11
1. Анализ технологического процесса электронасосного агрегата «А1СЦН»	13
1.1 Описание технологического процесса	13
1.2 Требования, предъявляемые к электронасосному агрегату «А1СЦН»	17
1.3 Режимы и область работы агрегата	19
2. Расчет и выбор силового электрооборудования электронасосного агрегата	22
2.1 Разработка функциональной схемы автоматизированного электропривода агрегата	22
2.2 Расчет мощности двигателя и предварительный его выбор	24
2.3 Проверка адекватности расчетных параметров	32
2.4 Расчет естественных характеристик электродвигателя	33
2.4.1 Расчет естественной механической характеристики	33
2.4.2 Расчет естественной электромеханической характеристики	34
2.4.3 Механическая характеристика насоса СЦН	36
2.5 Обзор систем управления и способов регулирования электропривода	38
2.6 Выбор закона частотного регулирования	40
2.7 Выбор преобразователя частоты	40
2.8 Расчет регулировочных характеристик системы	43
2.8.1 Статические характеристики системы преобразователь - двигатель при частотном управлении	43
2.8.2 Механические характеристики системы преобразователь - двигатель при законе регулирования $\frac{U_1}{f_1^2} = \text{const}$	44

2.8.3 Электромеханические характеристики системы преобразователь - двигатель при законе регулирования $\frac{U_1}{f_1^2} = \text{const}$	47
3. Проектирование системы автоматического регулирования	51
3.1 Частотно – регулируемой асинхронный электропривод со скалярным управлением	51
3.2 Функциональная схема системы скалярного управления	55
3.3 Имитационные исследования частотно – регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением	60
4. Разработка электрической схемы управления электронасосным агрегатом «А1СЦН»	64
4.1 Основной режим	64
4.2 Резервный режим	66
4.3 Система защит	66
4.3.1 Защита от сухого хода	67
4.3.2 Защита от превышения предельного допустимого давления	67
4.3.3 Защита электродвигателя от аварийных режимов питающей сети	68
4.4 Выбор силового кабеля и аппаратов защиты	71
4.4.1 Выбор аппаратов	71
4.4.2 Выбор силового кабеля	72
5. Поиски неисправностей электрооборудования	74
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	77
6.1 Введение	77
6.2 Выбор и обоснование структурной (принципиальной) схемы электропривода	78
6.3 Анализ и оценка научно-технического уровня проекта (НТУ)	80
6.4 Планирование проектных работ	81
6.5 Расчет сметы затрат на проектирование	83

6.6	Расчет капитальных вложений на реализацию проекта	84
6.7	Расчет расходов при эксплуатации электропривода	85
6.8	Издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов	87
7.	Социальная ответственность	90
7.1	Ведение	90
7.2	Анализ опасных и вредных производственных факторов	90
7.2.1	Загазованность воздуха	91
7.2.2	Шум	93
7.2.3	Освещение	94
7.2.4	Низкие и высокие температуры окружающего воздуха	95
7.2.5	Захват вращающимися частями механизмов	96
7.2.6	Поражение электрическим током	96
7.2.7	Взрывобезопасность	99
7.3	Расчёт защитного заземления	102
7.4	Охрана окружающей среды	105
7.5	Чрезвычайные ситуации	107
	Заключение	109
	Список используемых источников	111

Введение

Для осуществления авиаперевозок авиапредприятиям нужна специальная инфраструктура, включающая конструктивные элементы (взлетно-посадочная полоса, здания и сооружения), технические средства наземного обслуживания и средства связи.

Технические средства наземного обслуживания включают в себя обслуживание воздушных судов, обслуживание взлетно-посадочной полосы и наземного оборудования, обслуживание зданий и сооружений.

Подготовка летательных аппаратов при наземном обслуживании включает в себя не только процесс обслуживания систем самолета, но и его заправка эксплуатационными жидкостями, в том числе и авиационными горючими смазочными материалами (ГСМ). Этим видом обслуживания является функция обеспечения летательный аппарат авиатопливом.

Как и в любой отрасли промышленности, в авиатранспортной сфере находят применение многочисленные виды электроприводов с электродвигателями постоянного и переменного тока.

Развитие преобразовательных устройств в системе управления асинхронным двигателем дает большие преимущества перед приводами постоянного тока. Основным преимуществом электродвигателя переменного тока является простота конструкции а следовательно и его надежность. Ещё одно не маловажное преимущество это масса-габаритные размеры, так как размер и вес электродвигателей постоянного и переменного тока с одинаковой мощностью существенно различаются, это делает производство электрических машин постоянного тока более дорогостоящим, а при размещении их на производственной площадке требуется больше места.

Данная работа посвящается проектированию электрооборудования для электронасосного агрегата А1СЦН, функция которого заключается в перекачки авиационного топлива из автоцистерны в парк временного хранения.

Так как к системе обеспечения авиатопливом предъявляются особые требования, то и электрооборудование объекта проектируется максимально надежным. Основными элементами системы электрооборудования являются: асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, преобразователь частоты, электрические аппараты управления и защиты, задачами которых являются обеспечением технологических установок электрической энергией, защитой оборудования, трубопроводов гидравлической системы и схемы электроснабжения от критических перегрузок. И в данной работе выполняется расчет параметров этого электрооборудования, его выбор на отечественном рынке и исследование на актуальность с помощью прикладных программ.

Практическое применение проектируемой системы электрооборудования не ограничивается складом ГСМ авиапредприятия, она может также эффективно применяться и на других производствах, где требуется транспортировка чистых жидкостей, с плотностью не более 1000 кг/м^3 по системе трубопровода, примером могут служить химические, пищевые предприятия, где перекачиваются растворители, кислоты, спирты и другие жидкости. Поэтому проектируемая система электрооборудования может найти достойное применение на отечественных предприятиях.

1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОНАСОСНОГО АГРЕГАТА «А1СЦН»

1.1. Описание технологического процесса

Технологический процесс доставки авиационного топлива до топливных баков воздушных судов заключается в приемке топлива в парк, проверке его на качество, и заправки в самолет.

При приеме, выдаче нефтепродукта и движении его внутри склада, происходит по системе трубопроводов. Нужно только выбрать емкость, открыть соответствующую запорную арматуру и выполнить операцию по сливу или заправки топлива. Движение керосина по системе трубопроводов задается агрегатом А1СЦН, в котором рабочим механизмом является центробежный насос. Рабочие параметры этой машины наибольшим образом подходят для выполнения поставленных задач.

Сегодня предприятия топливно-энергетического комплекса и пищевой промышленности, отдающие предпочтение отечественным агрегатам, используют насосы типа АСВН, АСЦЛ, АСЦН, которые предназначены для установки на стационарных и передвижных установках (бензовозы, цистерны, топливозаправщики). Эти агрегаты позволяют перекачивать чистую жидкость без механических примесей, а именно бензин, дизельное топливо, керосин, растворители, кислоты, продукты пищевые (вода, спирт и др.) и смежные жидкости с вязкостью не более 2×10^{-6} м²/с, в которых стоек алюминий АЛ-4 или АК-9ч. Температура перекачиваемой жидкости от -40 до +50°С с плотностью не более 1000 кг/м³.
[12]

Технологический процесс при выполнении поставленных задачи предприятия по обеспечению заправки воздушных судов авиационным топливом можно разделить на три неких этапа.

Под первым этапом можно предположить прием топлива из автомобильных цистерн (далее АТЦ), при этом оно перекачивается в резервуар склада временного хранения и расхода.

На втором этапе топливо успокаивается, отстаивается. После его отстаивания осуществляется отбор пробы керосина на пригодность для использования в качестве топлива двигателей воздушных лайнеров. После подтверждения его качества с помощью физико-технического анализа выполняется третий этап технологического процесса.

Третий этап является завершающим, при котором проверенное топливо закачивается в топливозаправщик (далее ТЗ), и выезжает на перрон к месту стоянки воздушного судна, где и осуществляется заправка в баки самолета.

Как уже описывалось выше, что при выполнении операций по перемещению продукта движение его задается центробежным насосом. Рассмотрим подробнее технологический процесс приема авиатоплива в парк (рис1.1.).

После прибытия автоцистерны (АТЦ) на территорию склада автомобиль устанавливается на специальную площадку для слива продукта и устройством УЗА (устройство заземления автоцистерн) заземляется.

Отбирается из отстойника автоцистерны проба поставленного продукта для визуального анализа на наличие загрязнений. И если качество нефтепродукта после визуального анализа соответствует качеству, представленному в документах, то начинается подготовка к процессу слива.

С помощью герметичного наконечника подсоединяется рукав слива топлива насосного модуля к сливному устройству АТЦ. Открывается запорная арматура выбранной ёмкости (от 1 до 10), запорная арматура агрегата АФТ-90-2с (КШ) и включается насосный агрегат А1СЦН 90/80 (поз.3,4). Включение и отключение агрегатов производится кнопками с местного поста управления расположенного на капоте агрегата.

Через подводящий трубопровод топливо поступает в фильтр гидравлический ФГк – 150 Г – «грязевик» (поз.1). Здесь происходит предварительная грубая очистка нефтепродукта от механических примесей, предохраняющая насосный агрегат и подготавливающая продукт к более тонкой очистке.

Затем авиационное топливо через обратный клапан (поз.5,6), подается в фильтр гидравлический ФГк – 120 (поз.2), где оно очищается от механических примесей с размером частиц 20 - 40 мкм. Функция обратного клапана заключается в предотвращении обратного потока жидкости в гидросистеме и поддержания в ней заданного рабочего давления. На этом этапе авиатехник контролирует степень загрязнённости фильтрующего элемента, наблюдая за показаниями дифференциального манометра (поз.13, 14), который показывает разность давления жидкости на входе и выходе фильтрующего агрегата.

После тонкой фильтрации топливо проходит через индукционный нейтрализатор статического электричества ИНСЭТ (поз.7), в котором происходит отвод на «землю» зарядов статического электричества из потока авиатоплива.

Далее идет измерение количественного объема принимаемого топлива при прохождении его через жидкостный счетчик МКА – 3350 (поз.8). Здесь персонал наблюдает за фактическим количеством авиационного топлива, поступившим в парк.

После прохождения авиа керосина через счетчик он подается в парк через систему визуального контроля качества (поз.24). Система визуального контроля качества позволяет авиатехнику визуально определять качество топлива на наличие в нем посторонних примесей.

При выполнении операций по сливу авиатехник производит отбор топлива в стеклянную тару из отстойников фильтров ФГк -120 и ФГк – 150 Г для визуального анализа на наличие механических примесей.

По опорожнению АЦЦ электронасосный агрегат отключается, запорная арматура приводится в закрытое состояние, отсоединяется наконечник сливного рукава, заземление УЗА также отцепляется и автоцистерна транспортируется с территории парка [13].

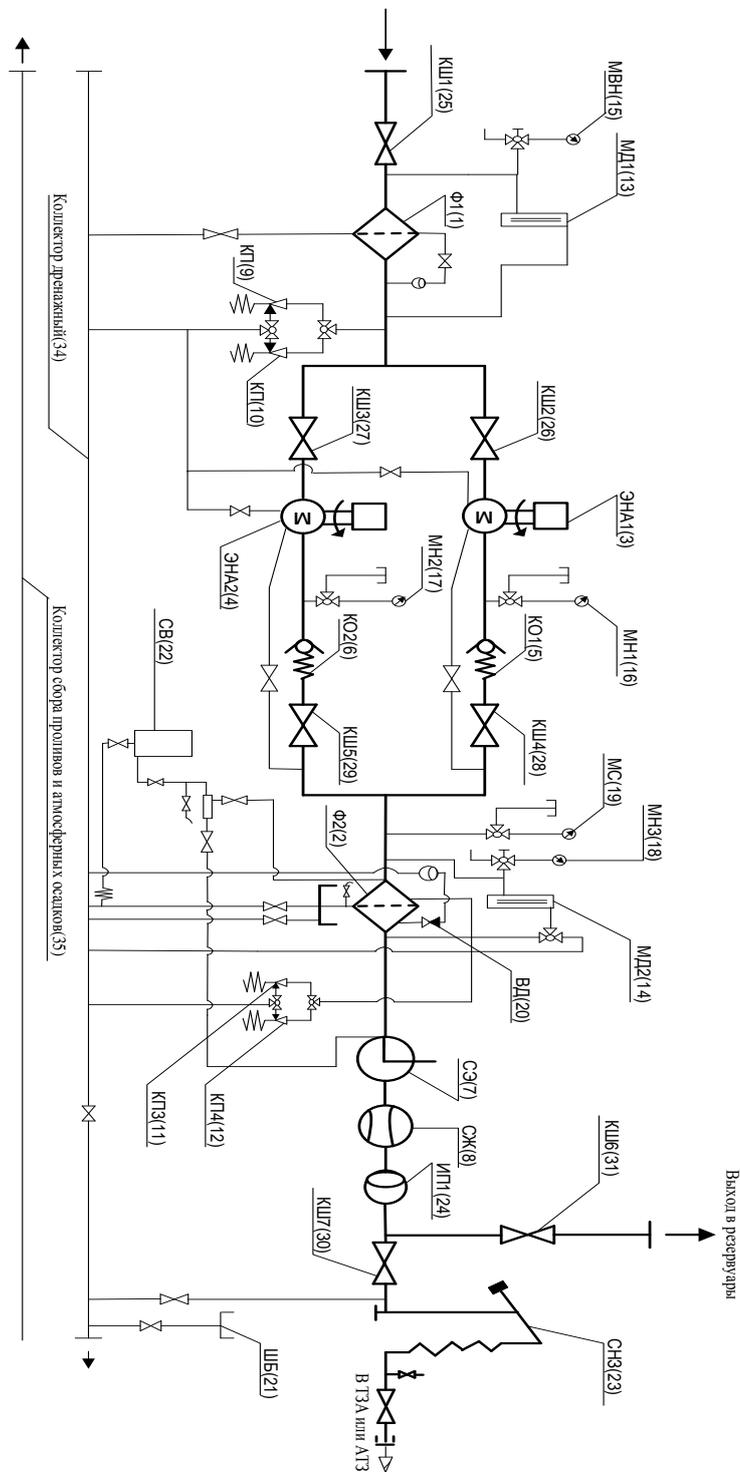


Рисунок 1.1 - Схема технологического процесса по фильтрации и перекачки топлива в парк насосным модулем АФТ90-2с

Фильтр гидравлический ФГк-150 Г (поз.1), фильтр гидравлический ФГК-120.2.3 (поз.2), самовсасывающий электронасосный агрегат А1СЦН 90/80 (поз.3 и 4), клапан обратный КО – 80 (поз.5 и 6), индукционный нейтрализатор статического электричества в потоке топлива ИНСЭТ – 100/100 (поз.7), счетчик жидкости МКА – 3350 (поз.8), системы предохранительных клапанов (поз.9, 10, 11, 12), манометр дифференциальный показывающий ДП (поз.13, 14), мановакуумметр МВП-100 (поз.15), служит для измерения вакуумметрического давления на входе в фильтр ФГк – 150Г МП – 100, манометр, показывающий сигнализирующий ДМ – ЭкМ – 100-Ех (поз.19), манометры избыточного давления (поз.16, 17), вентиль – дегазатор (поз.20), штуцер бортовой ОСТ1 11320-74 (поз.21), система визуального контроля качества топлива СВКТ, стояк нижней заправки СНЗ – 65 (поз.23), индикатор потока топлива НПТ – 100 (поз.24), предназначен для визуального контроля непрерывности потока топлива, краны шаровые: DN 150 (поз.25), DN 100 (поз.26, 27), DN 80 (поз.28, 29, 30, 31), коллектор дренажный (поз.34), коллектор проливов и сбора атмосферных осадков (поз.35).

1.2 Предъявляемые требования к электронасосному агрегату «А1СЦН 90/80»

Еще на стадии проектирования специалистами, выбор насосного оборудования зависит от множества факторов. В первую очередь это вид перекачиваемого продукта, его физические и химические свойства, которые будут воздействовать на рабочие части агрегата, это количество вещества, которое необходимо переместить за время технологической операции, также следует учитывать внешнее климатическое воздействие на оборудование и перекачиваемый продукт во время перекачки. Все работы по проектированию и реализации должны выполняться в строгом соблюдении

требований, норм и правил технической документации, утвержденной в установленной форме министерством Российской Федерации

К электронасосному агрегату предъявляются следующие требования:

-производительность технологического процесса по перекачки авиатоплива должна быть в пределах от 70 м³ до 90 м³ в час;

-номинальная частота вращения рабочего колеса насоса должна быть на уровне 2900 об/мин;

-поддержание напора в линии технологического процесса до 80 м;

-обеспечение плавного изменения давления перекачиваемой жидкости в технологическом трубопроводе при пуске агрегата и его остановки;

-корпус и детали агрегата должны быть стойкие к химическому воздействию сред перекачиваемого продукта и окружающего воздуха;

-сохранение работоспособного состояния и рабочих характеристик агрегата (производительность, напор и т.д.) при воздействии на него сезонных температур в диапазоне от -50 до +50 °C ;

-агрегат должен выполнен во взрывозащищенном исполнении 1ExdIIВТ4 так как его расположение предполагается во взрывоопасной зоне класса 1;

- уплотнение вала насоса должно быть выполнено торцевым уплотнением с повышенной прочностью;

-уровень шума образующегося в результате вращения оборудования, не должен превышать установленного значения;

-электроагрегат должен быть экономичным как при его производстве, так и в области ремонта и обслуживания, а также экономия должна быть в потреблению энергоресурсов;

-оборудование должны быть надежным, среднее время наработки между ремонтами должно быть не менее 3000 часов;

-изделие должно изготовлено из комплектующих и компонентов отечественных производителей, которые находятся в доступности на российских рынках.

Все эти требования, предъявляемые к агрегату должны обеспечить его надежную и бесперебойную работу технологического процесса по обеспечению топливом воздушных судов в условиях климата Томского района.

1.3 Режимы и область работы агрегата

Основным номинальным режимом работы агрегата А1СЦН, является продолжительный режим. Согласно классификации режимов работы по ГОСТ 183-74 таким режимом является режим S1. Это режим работы при неизменной номинальной нагрузке, продолжающийся столько времени, что превышение температуры всех частей двигателя, при неизменной температуре окружающей среды, достигают практически установившихся значений. Т.е. это режим, при котором двигатель должен работать сколько угодно долго, не перегреваясь, сверх допустимого значения температуры.

По классификации типовых общепромышленных механизмов центробежный насос является установкой непрерывного действия, поэтому нагрузка электропривода длительная постоянная.

Режим работы нагрузки можно рассматривать в трех временных интервалах. В интервале пуска и разгона происходит пуск агрегата и выход его на номинальную частоту вращения. В интервале номинальная работа происходит сам процесс перекачки топлива, при котором рабочее колесо центробежного насоса вращается с номинальной скоростью вращения. И последний интервал это режим снижения скорости вращения рабочего органа агрегата и его остановка.

Необходимость разделения режимов работы возникает с повышением требований к надежности системы.

В интервале пуска и разгона до номинальной скорости происходит плавное увеличение частоты вращения ротора, что уменьшает механические нагрузки на детали агрегата в первую очередь на вал и подшипниковые узлы.

Также плавный пуск исключает амплитудные гидроудары на агрегаты насосного модуля и системы трубопроводов в целом. Это предотвращает разрыв фильтрующих элементов в фильтрующих агрегатах, защищает от повреждения счетчик перекачиваемой жидкости и поддерживает на нужном уровне его точность, предохраняет от разрыва трубопроводы.

В интервале номинального режима работы происходит основной технологический процесс. Здесь происходит поддержание на заданном уровне напора, регулировкой скоростью частоты вращения рабочего колеса агрегата.

В интервал снижения частоты вращения и остановки происходит плавное уменьшение давление в системе, что в свою очередь влияет на срок службы системы фильтрации, системы трубопровода, системы учета топлива и повышает точность показаний счетчика.

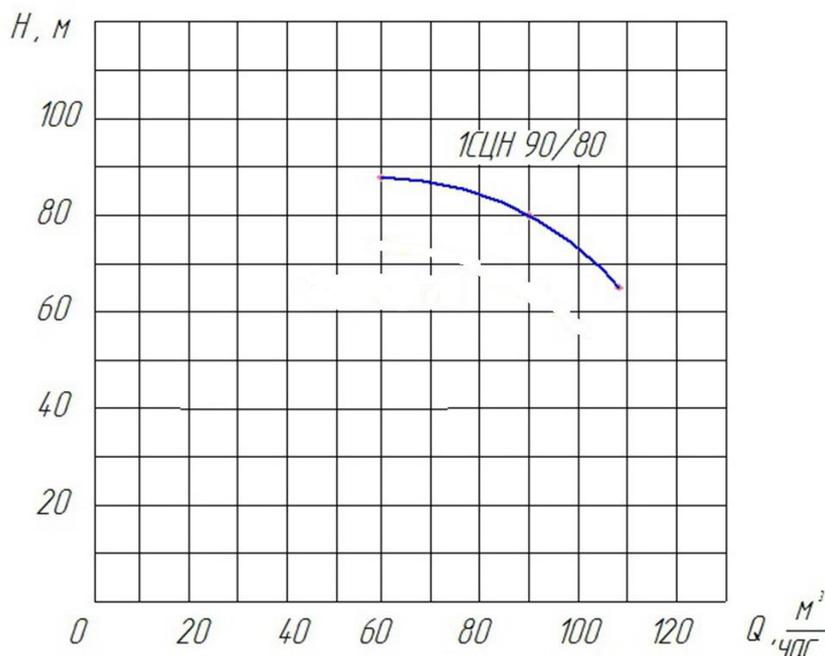


Рисунок 1.2 - Рабочий интервал А1СЦН 90/80.

Номинальный рабочий интервал насосного агрегата А1СЦН 90/80 представлен на рисунке 1.2, из которого можно определить, что номинальная производительность Q находится в пределах от 60 до 108 $\text{м}^3/\text{час}$, а номинальный напор H равняется от 70 до 86 м.

Насосы типа СЦН 90/80 - центробежные, консольные, одноступенчатые с односторонним подводом жидкости к рабочему колесу, предназначены для перекачивания жидкости, производственно-технического назначения с рН 6...9, температурой от 273 до 358К (от 0 до + 85оС) и от 273 до 378К (от 0 до 105оС), и других жидкостей, сходных с водой по плотности, вязкости и химической активности, содержащих твердые включения размером до 0,2 мм, объемная концентрация которых не превышает 0,1%. Уплотнение вала насоса - одинарное торцовое. Наибольшее допускаемое избыточное давление на входе в насос 0,6 МПа (6,0 кгс/см²).

На рисунке 1.3 приведен внешний вид насоса типа СЦН 90/80.



Рисунок 1.3 - Внешний вид насоса типа СЦН 90/80

В таблице 1.1 приведены технические характеристики насоса СЦН 90/80

Таблица 1.1 – Технические характеристики насоса СЦН 90/80

Параметр	Обозначение	Значение	Ед. измерения
Номинальная подача	Q	0,025	м ³ /с
Номинальный напор	H	80	м
Максимальная частота вращения	n _{нас.макс}	2900	об/мин

2. РАСЧЕТ И ВЫБОР СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОНАСОСНОГО АГРЕГАТА

2.1 Разработка функциональной схемы автоматизированного электропривода агрегата

Силовое электрооборудование агрегата А1СЦН включает в себя система автоматизированного электропривода по системе ПЧ-АД и аппараты управления и защиты.

Электроприводом называется электромеханическая система, предназначенная для приведения в движение рабочих органов машин и механизмов и управления их технологическим процессом, состоящая из электродвигателя, преобразовательного устройства, устройства управления и передаточного устройства.

Описание работы разрабатываемой функциональной схемы, которая изображена на рисунке 2.1, заключается в следующем:

Рабочему органу исполнительного механизма, которым является рабочее колесо центробежного насоса А1СЦН, задается механическая энергия вращения. Эту энергию задает асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (ЭМП), питающийся от сети переменного тока. Передаточным устройством (ПУ) будет, является эластичная муфта, соединяющая вал электродвигателя с валом центробежного насоса.

При выполнении технологического процесса возникают различные факторы, влияющие на состояние всего оборудования участвующего в процессе. Эти влияния могут негативно повлиять на оборудование установки. Поэтому для разрабатываемого электропривода необходимо спроектировать автоматическое управление работой электродвигателя. Для этого мы будем использовать полупроводниковый преобразователь с управляемыми ключами (СПУ). С помощью преобразователя мы будем изменять параметры входной сети, питающие обмотки статора. Это нам позволит с высокой точностью регулировать электромеханические

характеристики электродвигателя, тем самым обеспечивать производительность и надежность производственного процесса.

Управляет работой полупроводниковых ключей система управления ИСУ, которая по заданным алгоритмам подает на транзисторы управляющие импульсы. Алгоритмы управления зависят от поступающих данных обратной связи. Информация обратной связи обрабатывается, и система вносит корректировки в работу силовых ключей преобразователя. В проектируемом приводе информация обратной связи должна быть следующая: ток статора, напряжение статора, частота вращения ротора, давление на выходе из агрегата в напорную линию [14].

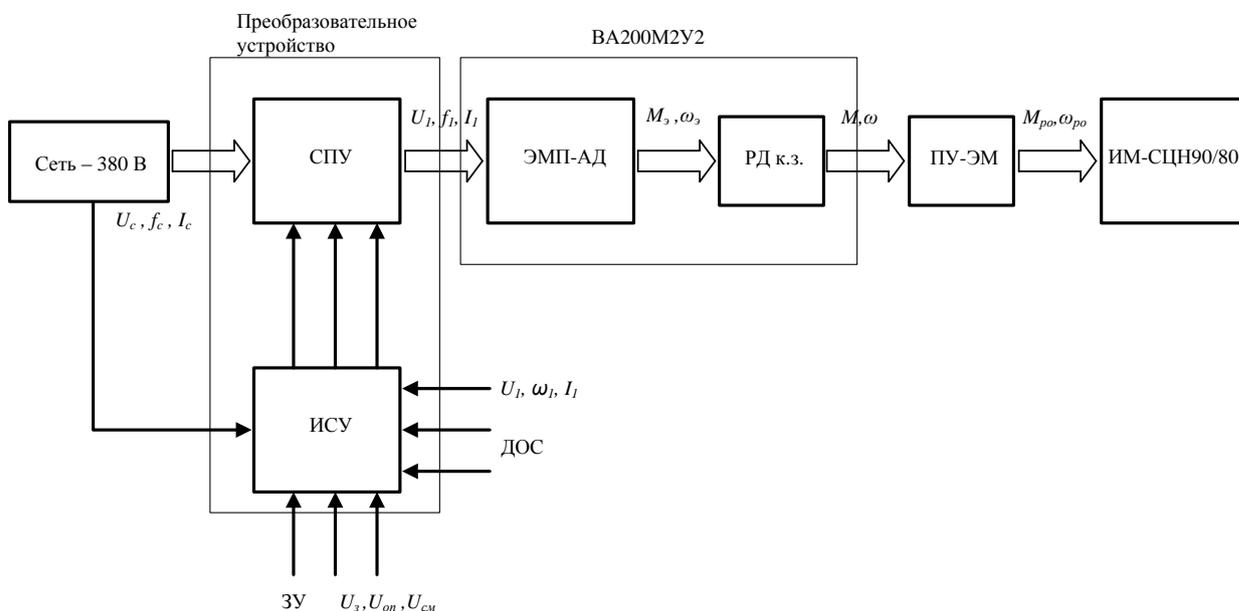


Рисунок 2.1 Функциональная схема автоматизированного электропривода.

На рисунке 2.1. приняты следующие обозначения

ПрУ – преобразовательное устройство;

СПУ – силовое преобразовательное устройство;

ИСУ – информационная система управления;

ЭМП – электромеханический преобразователь;

РД – ротор двигателя;

ПУ – передаточное устройство в виде эластичной муфты;

ИМ – рабочий орган исполнительного механизма центробежный насос;

ЗУ – задающие устройства;

ДОС – датчики обратной связи;

U_c , f_c , I_c – напряжение, частота и ток, потребляемый электроприводом;

U_1 , f_1 , I_1 – напряжение, частота и ток обмоток статора двигателя переменного тока;

$M_э$, $\omega_э$ – электромагнитный момент и скорость вращения магнитного поля, созданного обмотками статора;

M , ω – момент и скорость вращения двигателя;

$M_{рo}$, $\omega_{рo}$ – момент и скорость вращения рабочего органа исполнительного механизма;

$U_з$, $U_{оп}$, $U_{см}$ – задающие сигналы: задающее напряжение, опорное напряжение, напряжение смещения.

из сети;

2.2 Расчет мощности двигателя и предварительный его выбор

При определении мощности приводного электродвигателя используются параметры агрегата, для которого подбирается электродвигатель. Агрегатом для перекачки топлива являются центробежный насос, его характеристиками являются производительность Q , напор H и КПД $\eta_{нас.}$, также необходимо учитывать плотность перекачиваемой среды ρ .

Мощность насоса определяется по выражению [2]

$$P_{нас} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta_{нас}} = \frac{800 \cdot 9,81 \cdot 0,025 \cdot 80}{1000 \cdot 0,79} = 30,3 \text{ кВт} , \quad (2.1)$$

где $Q = 0,025 \text{ м}^3/\text{с}$ – подача насоса,

$H = 80 \text{ м}$ напор;

$\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ – плотность топлива;

$\eta_{нас} = 0,79$ – КПД насоса.

Мощность приводного электродвигателя выбираем с учетом возможного отклонения режима работы насоса от его номинального режима, т.е. мощность электродвигателя выбираем с запасом.

$$P_{дв} = \frac{k \cdot P_n}{\eta_n} = \frac{1,15 \cdot 30,3}{0,98} = 34,5 \text{ кВт}, \quad (2.2)$$

где k – коэффициент запаса, выбираем $k = 1,15$, так как электродвигатель является приводом насоса, работающего при постоянной нагрузке в продолжительном режиме, и имеет редкие пуски при закрытой задвижке;

η_n – КПД передачи, при соединении валов двигателя и насоса муфтой принимаем $\eta_n = 0,98$.

Исходя из экономических соображений, безопасности и надежности выбираем двигатель переменного тока, номинальным напряжением 380 В, номинальная частота вращения ротора 2940 об/мин. Двигатель должен быть выполнен во взрывозащищенном исполнении 1ExdIIВТ4, способ охлаждения-закрытая самовентилируемая система. Такой машиной является асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором ВА200М2У2, общий вид двигателя представлен на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 - Общий вид двигателя ВА200М2У2

выполняется условия: $P_{\text{дв.н}} = 37 \text{ кВт} \geq P_{\text{дв}} = 34,5 \text{ кВт}$, и

$$n_{\text{дв.н}} = 2940 \text{ об/мин} \geq n_{\text{нас.макс}} = 2900 \text{ об/мин}$$

Технические характеристики электродвигателя ВА200М2У2

приведены в табл. 2.1. [3].

Таблица 2.1-Технические данные электродвигателя

Типо- размер	n_0 , об/мин	$U_{\text{н}}$, В	$P_{\text{двн}}$, кВт	При номинальной нагрузке			$J_{\text{дв}}$, кг · м ²
				$s_{\text{н}}$, %	$\cos \varphi_{\text{н}}$	$\eta_{\text{н}}$, %	
ВА200М2	3000	380	37	2	0,89	93	0,13
$m_{\text{п}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{н}}}$	$m_{\text{к}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{н}}}$	$m_{\text{м}} = \frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{н}}}$	$k_{i \text{ дв}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{н}}}$	Степень защиты			
2,4	2,8	1.6	7,0	1ЕхdIIВ Т4			

Расчетные параметры электродвигателя

Для правильного выбора оборудования и дальнейшей его нормальной эксплуатации, необходимо знать его параметры. Не все производители электрических машин указывают в технической документации полный список параметров агрегата, поэтому при покупке электродвигателя необходимо произвести расчет параметров агрегата, для дальнейшей нормальной его эксплуатации.

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ с}^{-1} \quad (2.3)$$

Номинальная частота вращения и угловая скорость вращения двигателя

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - s_{\text{н}}) \cdot n_0 = (1 - 0,02) \cdot 3000 = 2940 \text{ об/мин}; \quad (2.4)$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - s_{\text{н}}) \cdot \omega_0 = (1 - 0,02) \cdot 314 = 307,88 \text{ рад/с}. \quad (2.5)$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный и линейный ток (действующие значения) статора при схеме соединения обмоток звезда

$$U_{1\text{фн}} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220\text{В}; \quad (2.6)$$

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = I_{\text{двн}} = \frac{P_{\text{двн}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos\varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{37000}{3 \cdot 220 \cdot 0,89 \cdot 0,93} = 68 \text{ А}. \quad (2.7)$$

Номинальное значение момента двигателя

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{37 \cdot 1000}{307,88} = 120 \text{ Нм}. \quad (2.8)$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске

$$I_{1\text{макс}} = I_{1\text{лн}} \cdot K_{i\text{дв}} = 68 \cdot 7 = 476 \text{ А}. \quad (2.9)$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике

$$M_k = m_k \cdot M_{\text{дв.н}} = 2,8 \cdot 120 = 336 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.10)$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 2 \cdot 120 = 240 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.11)$$

Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, представленная на рисунке 2.3 [5].

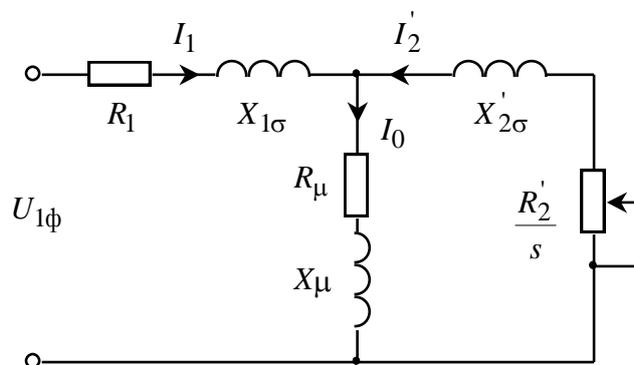


Рисунок 2.3 – Схема замещения асинхронного двигателя

На рисунке схемы замещения имеются следующие параметры:

- $U_{1\phi}$ – фазное напряжение подводимое к обмотке статора двигателя;
- I_1 – ток обмотки статора;
- R_1 – активное сопротивление обмотки статора;
- $X_{1\sigma}$ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;
- I_2' – приведенный ток обмотки ротора к обмотке статора;
- R_2' – приведенное активное сопротивление цепи обмотки ротора к цепи обмотке статора;
- $X_{2\sigma}'$ – приведенное индуктивное сопротивление рассеяния цепи обмотки ротора к цепи обмотке статора;
- I_0 – ток холостого хода (намагничивания);
- X_m – индуктивное сопротивление контура намагничивания.

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие данной схеме

$$\bar{U}_{1\phi} - \bar{E}_m - j \cdot X_1 \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 = 0$$

$$\bar{E}_m + j \cdot X_2' \cdot \bar{I}_2' + R_2' \cdot \bar{I}_2' / s = 0$$

$$\bar{I}_1 + \bar{I}_2' - \bar{I}_0 = 0$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений изображена на рисунке 2.4.

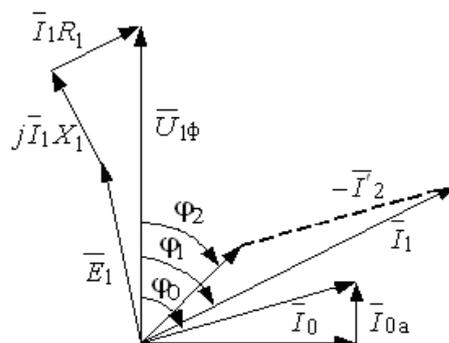


Рисунок 2.4 – Векторная диаграмма асинхронной машины

Определим дополнительные параметры асинхронного двигателя по каталожным данным.

Параметры схемы замещения определяем по методике, предложенной в [5].

Определяем предварительное значение тока холостого хода асинхронного двигателя по выражению

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left[p_* \cdot I_{1H} \cdot \frac{1-s_H}{1-p_* \cdot s_H} \right]^2}{1 - \left[p_* \cdot \frac{1-s_H}{1-p_* \cdot s_H} \right]^2}} = \sqrt{\frac{51,9^2 - \left[0,75 \cdot 68 \cdot \frac{1-0,02}{1-0,75 \cdot 0,02} \right]^2}{1 - \left[0,75 \cdot \frac{1-0,02}{1-0,75 \cdot 0,02} \right]^2}} = 17,8 \text{ A},$$

(2.12)

где

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_{дв.н}}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0,75 \cdot 37000}{3 \cdot 220 \cdot 0,91 \cdot 0,89} = 51,9 \text{ A} \quad (2.13)$$

– ток статора двигателя при частичной нагрузке;

$$p_* = \frac{P}{P_H} \text{ – коэффициент загрузки двигателя, принимаем } p_* = 0,75;$$

$\eta_{p_*} = 0,89$ – КПД двигателя при частичной нагрузке, в соответствии с табл.1[1];

$\cos \varphi_{p_*} = 0,91$ – коэффициент мощности при частичной нагрузке, в соответствии с табл. 2[6].

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot (1-s_H)}{2 \cdot m_k \cdot P_{дв.н} \cdot 1000 \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_k} \right)} = \quad (2.14)$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,02)}{2 \cdot 2,8 \cdot 37 \cdot 1000 \cdot 1,019^2 \cdot \left(1,45 + \frac{1}{0,132}\right)} = 0,066 \text{ Ом},$$

где β – коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора, значение которого находится в диапазоне $0,6 \div 2,5$, принимаем $\beta = 2,4$;

– расчетный коэффициент C_1 , характеризующий соотношение $\frac{X_\mu + X_{1\sigma}}{X_\mu}$

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_{\text{дв}} \cdot I_{\text{дв.н}}} = 1 + \frac{17,8}{2 \cdot 7 \cdot 68} = 1,019; \quad (2.15)$$

– критическое скольжение двигателя

$$s_k = s_H \cdot \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} =$$

$$= 0,02 \cdot \frac{2,8 + \sqrt{2,8^2 - [1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 2,4 \cdot (2,8 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 2,4 \cdot (2,8 - 1)} = 0,132 \quad (2.16)$$

Активное сопротивление обмотки статора в номинальном режиме

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,019 \cdot 0,066 \cdot 2,4 = 0,162 \text{ Ом}. \quad (2.17)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания в номинальном режиме

$$X_{\text{кн}} = R_2' \cdot \gamma \cdot C_1 = 0,066 \cdot 7,2 \cdot 1,019 = 0,486 \text{ Ом}, \quad (2.18)$$

где $\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,132^2} - 2,4^2} = 7,2$ - коэффициент, характеризующий

соотношение индуктивного сопротивления короткого замыкания и приведенного активного сопротивления ротора.

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора в номинальном режиме

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 0,486 = 0,204 \text{ Ом}. \quad (2.19)$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{1\delta} = \frac{X_{1\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,204}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 6,5 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.} \quad (2.20)$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора в номинальном режиме

$$X'_{2\sigma} = 0,58 \cdot \frac{X_{кн}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{0,48}{1,019} = 0,277 \text{ Ом.} \quad (2.21)$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L'_{2\delta} = \frac{X'_{2\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,277}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 8,8 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.} \quad (2.22)$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания (главное индуктивное сопротивление)

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{204}{17,8} = 11,45 \text{ Ом,} \quad (2.23)$$

где $E_1 = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi_H - I_{1H} \cdot R_1)^2 + (U_{1H} \cdot \sin \varphi_H - I_{1H} \cdot X_{1\sigma H})^2} =$ (2.24)

$$= \sqrt{(220 \cdot 0,89 - 68 \cdot 0,162)^2 + (220 \cdot \sin(\arccos(0,89)) - 68 \cdot 0,204)^2} = 204 \text{ В}$$

– ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме.

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{11,4}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,036 \text{ Гн.} \quad (2.25)$$

Полученные расчётные параметры Т-образной схемы замещения электродвигателя сведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2 - Параметры схемы замещения электродвигателя ВА200М2

R_1 , Ом	$X_{1\delta}$, Ом	$L_{1\delta}$, Гн	X_μ , Ом	L_μ , Гн	R_2' , Ом	$X_{2\delta}'$, Ом	$L_{2\delta}'$, Гн	$X_{кн}$, Ом
0,162	0,204	$6,5 \cdot 10^{-4}$	11,45	0,036	0,066	0,277	$8,8 \cdot 10^{-4}$	0,486

2.3 Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя $M_{\text{эм.н}}^*$ и $M_{\text{эм.н}}^{**}$ [7]

$$M_{\text{эм.н}}(s_H) = M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[(X_{кн})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,066}{314 \cdot 0,02 \cdot \left[0,486^2 + \left(0,162 + \frac{0,066}{0,02} \right)^2 + \left(\frac{0,162 \cdot 0,066}{0,02 \cdot 11,45} \right)^2 \right]} = 124,4 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.26)$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_\mu}{(L_\mu + L_{2\delta}')}. \Psi_{2H} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1H}^2 - I_0^2} =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot \frac{0,036}{(0,036 + 8,8 \cdot 10^{-4})} \cdot 0,919 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{68^2 - 17,8^2} = 124,3 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.27)$$

$$\text{где } \Psi_{2H} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_\mu = \sqrt{2} \cdot 17,8 \cdot 0,036 = 0,919 \text{ Вб}. \quad (2.28)$$

Должны выполняться два условия [7]

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н}}^* \leq 1,1 \cdot M_{\text{дв.н}};$$

$$120 < 124,4 \leq 1,1 \cdot 120 = 132,2;$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} \approx M_{\text{эм.н}}^*; \quad 124,4 \approx 124,3.$$

По результатам расчета эти условия выполняются, что говорит об адекватности расчетных параметров двигателя.

2.4 Расчет естественных характеристик электродвигателя

Расчет естественных характеристик проводится с целью оценки степени совпадения параметров основных характерных точек расчетных естественных характеристик электродвигателя с параметрами двигателя определенными по справочным техническим данным выбранного электродвигателя [3].

2.4.1 Расчет естественной механической характеристики

Естественная механическая характеристика $\omega(M)$ асинхронного электродвигателя рассчитывается для частоты $f_{и}=f_{1н}=50$ Гц по выражению

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\phi н}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[(X_{кн})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} \quad (2.29)$$

Задаемся скольжением в пределах $s = 0.01, 0.02, \dots, 0.5$ и рассчитываем по программе *Mathcad* естественную механическую характеристику $\omega(M)$ (рисунок 2.5), где $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$.

Также рассчитываем номинальное значение электромагнитного момента двигателя $M_{эм.н}$

$$\begin{aligned} M_{эм.н}(s_{н}) &= M_{эм.н} = \frac{3 \cdot U_{1\phi н}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{н} \cdot \left[(X_{кн})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{н}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{н} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,066}{314 \cdot 0,02 \cdot \left[0,486^2 + \left(0,162 + \frac{0,066}{0,02} \right)^2 + \left(\frac{0,162 \cdot 0,066}{0,02 \cdot 11,45} \right)^2 \right]} = 124,4 \text{ Н} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

критического скольжения

$$s_k = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu}\right)^2}{R_1^2 + X_{кн}^2}} = 0,066 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{0,162}{11,45}\right)^2}{0,162^2 + 0,486^2}} = 0,13 \quad (2.30)$$

и электромагнитного критического момента

$$M_{\text{эм.н}}(s_k) = M_{\text{эм.к}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2}{\omega_0 \cdot 2 \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{кн}^2) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{X_\mu}\right)^2} \right]} = \quad (2.31)$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{314,16 \cdot 2 \cdot \left[0,162 + \sqrt{(0,162^2 + 0,486^2) \cdot \left(1 + \frac{0,162}{11,45}\right)^2} \right]} = 342,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

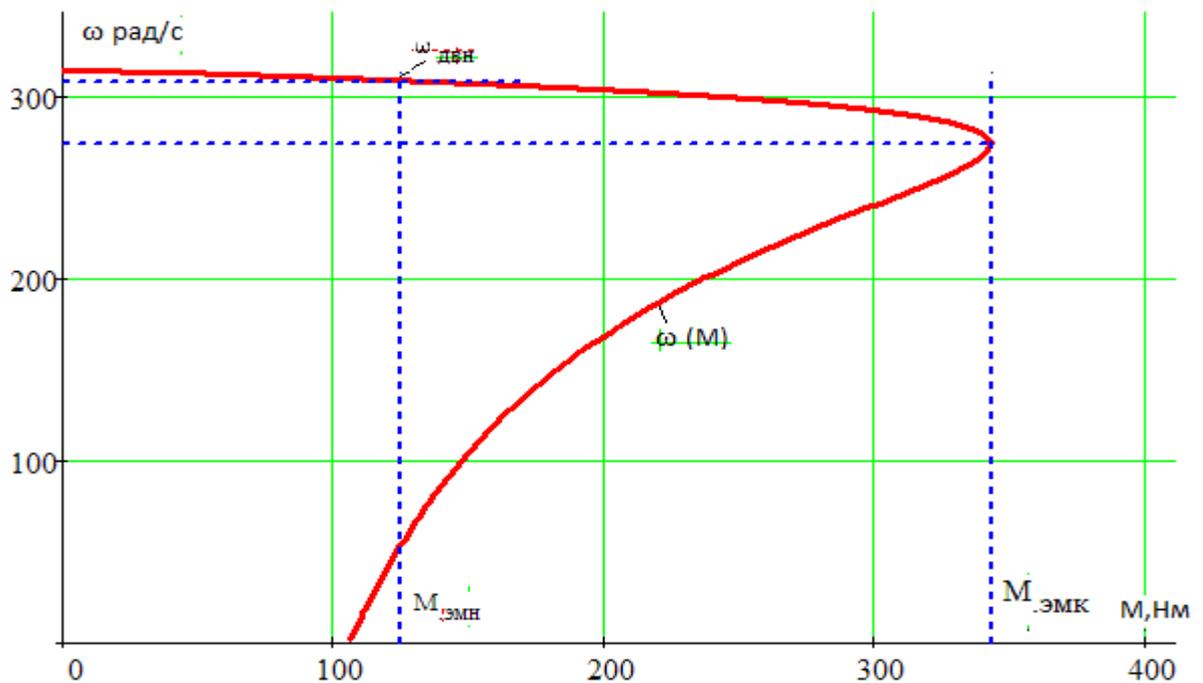


Рисунок 2.5 – Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя

2.4.2 Расчет естественной электромеханической характеристики

Естественная электромеханическая характеристика $I_1(s)$

электродвигателя рассчитывается для значения частоты $f_{и} = f_{1н} = 50$ Гц по выражению

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)}, \quad (2.32)$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{KH})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu})^2}}; \quad (2.33)$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{KH})^2}}. \quad (2.34)$$

По вышеприведенным выражениям для скольжений $s = s_H$ и $s \rightarrow 0$ рассчитываются значения тока статора $I_1(s_H)$ и тока холостого хода I_0

$$I_0 = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\delta} + X_\mu)^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,165^2 + (0,204 + 11,45)^2}} = 18,8 \text{ A}, \quad (2.35)$$

$$\begin{aligned} I_1(s_i) &= \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s_i) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s_i) \cdot \sin \varphi_2(s)} = \\ &= \sqrt{18,8^2 + 62,2^2 + 2 \cdot 18,8 \cdot 62,2 \cdot 0,152} = 67,4 \text{ A}, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} I_2'(s_H) &= \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s_H})^2 + (X_{KH})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu})^2}} = \\ &= \frac{220}{\pm \sqrt{(0,162 + \frac{0,066}{0,02})^2 + (0,486)^2 + (\frac{0,162 \cdot 0,066}{0,02 \cdot 11,45})^2}} = 62,2 \text{ A}; \end{aligned}$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s_H})^2 + (X_{KH})^2}} = \frac{0,486}{\sqrt{(0,162 + \frac{0,066}{0,02})^2 + (0,486)^2}} = 0,152; \quad (2.36)$$

По результатам расчета строим естественные электромеханические характеристики токов статора $I_1 = f(\omega)$ и ротора $I_2' = f(\omega)$, приведенные

на рисунке 2.6.

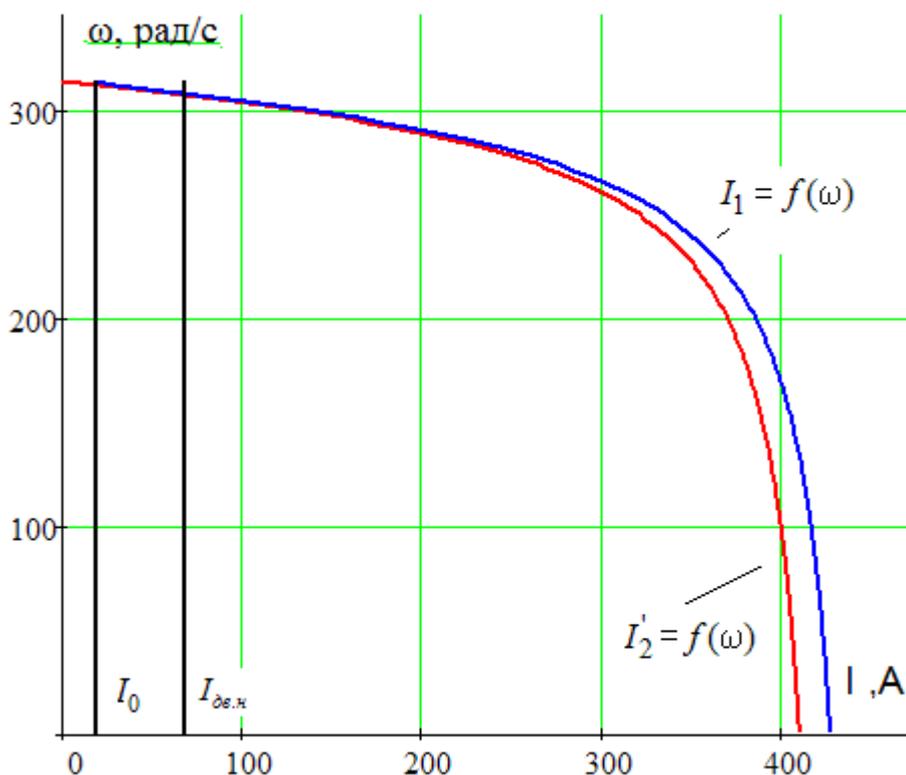


Рисунок 2.6 – Естественные электромеханические характеристики асинхронного электродвигателя

Сравнив значения расчетных параметров характерных точек естественных характеристик двигателя с его справочными данными, приведенными в таблице 2.1 и рассчитанными ранее, можно сделать вывод об адекватности расчетных параметров схемы замещения двигателя.

2.4.3 Механическая характеристика насоса СЦН

Поскольку механическая характеристика двигателя рассчитана для электромагнитного момента, то полная нагрузка на валу электродвигателя должна учитывать собственный момент трения двигателя. Момент от сил трения на валу электродвигателя можно принять постоянным и равным

$$\Delta M_{с\ д\ в} = M_{э\ м\ н} - M_{д\ в\ н} = 124,4 - 120 = 4,4 \text{ Нм.} \quad (2.37)$$

Поскольку напор, развиваемый насосом, как показано в [8] пропорционален квадрату частоты вращения, то статический момент

сопротивления на валу двигателя $M_c(\omega)$ изменяется в зависимости от скорости вращения двигателя в соответствии с выражением

$$M_c(\omega) = \Delta M_{с\ дв} + (M_{с.макс} - \Delta M_{с\ дв}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{дв.н}} \right)^2 =$$

$$= 4,4 + (124,4 - 4,4) \cdot \left(\frac{\omega}{307,88} \right)^2, \quad (2.38)$$

где $M_{с.макс} = M_{эм\ н} = 124,4$ Нм - момент нагрузки при скорости вращения $\omega_{дв.н} = 307,88$ рад/с, равный номинальному электромагнитному моменту двигателя.

Механические характеристик полного момента сопротивления на валу двигателя, соответствующих механическим характеристикам насоса, приведены на рис. 2.7.

Принимаем момент инерции насоса $J_{нас} = J_{дв} = 0,13$ кг м², тогда момент инерции электропривода $J_{э} = J_{дв} + J_{нас} = 0,13 + 0,13 = 0,26$ кг м².

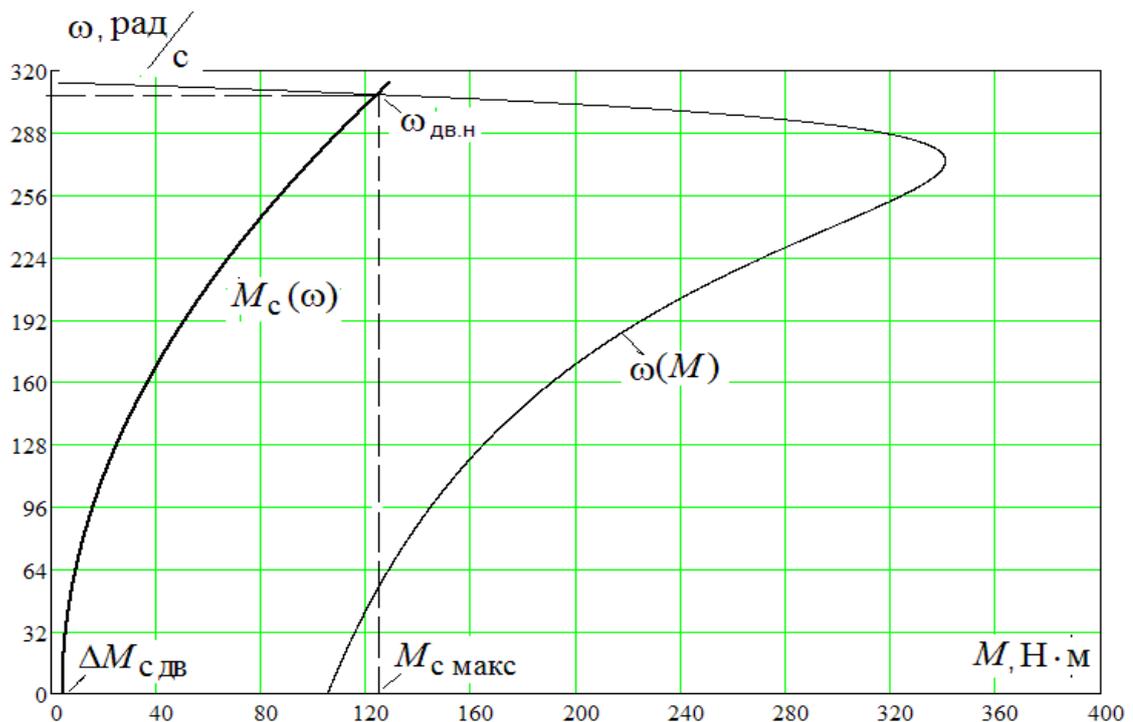


Рисунок 2.7 - Естественная механическая характеристика двигателя $\omega(M)$ и характеристики полного момента сопротивления на валу двигателя $M_c(\omega)$

Из анализа приведённых на рис. 2.7 характеристик следует, что электродвигатель ВА200М2У2 обеспечивает требуемое значение максимальной скорости насоса $\omega_{дв.н} = 307,88$ рад/с, длительную работу при максимальном моменте нагрузки и более чем двукратную перегрузку по моменту.

2.5 Обзор систем управления и способов регулирования электропривода

Многие ведущие электротехнические корпорации мира сегодня выпускают регулируемые автоматизированные электроприводы (АЭП) комплектно с микропроцессорными средствами автоматизации в виде гибко программируемых систем, предназначенных для широкого использования. Поэтому актуальность проектирования АЭП насосного агрегата, выполненного в общепромышленном исполнении заключается в решении задачи выбора системы управления электроприводом (СУЭП) для максимального повышения эффективности работы и производительности технологического оборудования.

Исходя из требований к СУЭП, при проектировании предлагаются к рассмотрению две схемы управления: схема векторного регулирования и схема скалярного управления электроприводом насосной установки, выполненными по системе преобразователь частоты - короткозамкнутый асинхронный электродвигатель (ПЧ-АД).

Выбор способа и принципа управления производится на основании требований к регулированию скорости и показателям качества регулирования: диапазону регулирования, плавности, точности поддержания заданной скорости. Обязательно учитываются динамические показатели качества процесса регулирования: быстродействие, перерегулирование и др. Кроме того, при выборе системы управления электроприводом обязательен учет характера нагрузки, создаваемой рабочим механизмом. Частотное

управление электродвигателями осуществляется двумя основными способами [7].

Скалярный принцип частотного управления является наиболее распространенным в электроприводе. Ему свойственна техническая простота измерения и регулирования абсолютных значений переменных АД. Управление осуществляется по функциональной характеристике, связывающей напряжение и частоту статора электродвигателя (U/f - характеристике), с применением модуля IR-компенсации для поддержания постоянства потокосцепления статора в соответствии с этой характеристикой. В статических режимах позволяет добиться за счет обратных связей желаемых свойств электропривода. Применяется для электроприводов, в которых отсутствуют высокие требования к динамике.

Векторный принцип управления базируется на принудительной взаимной ориентации векторов потокосцеплений и токов АД в полярной или декартовой системах координат в соответствии с заданным законом регулирования. За счет регулирования модулей переменных и углов между их векторами обеспечивается управление АД как в статике, так и в динамике, обеспечивая тем самым заметное улучшение качества переходных процессов. Именно этот факт является определяющим при выборе системы с векторным управлением и находит применение в электроприводах со средней и высокой динамикой. Приводы таких механизмов как насосы занимают промежуточное положение между высокодинамичными, динамичными и низкодинамичными.

В приводах длительного режима работы с постоянной скоростью, диапазоном регулирования скорости не больше 1:10 и без особых требований к динамике целесообразно применение простейших структур и законов частотного управления [9]. Поэтому целесообразно скалярный принцип частотного управления применить при проектировании СУЭП по системе ПЧ-АД насосной установки [7].

2.6 Выбор закона частотного регулирования

Закон частотного регулирования U_1/f_1 при скалярном управлении выбирается в зависимости от характера нагрузки производственного механизма. Для механизмов с постоянной нагрузкой выбирается закон управления $U_1/f_1 = \text{const}$, для механизмов с «вентиляторной» нагрузкой целесообразно выбрать закон $U_1/f_1^2 = \text{const}$ [9].

Последний является более сложным в реализации, но за счет дополнительного снижения напряжения позволяет уменьшить потребляемую из сети энергию. Для повышения пускового момента на малых скоростях до требуемых значений должна быть предусмотрена возможность настройки вольт-частотной характеристики. Определяя параметры вольт-частотной характеристики, нижним частотам ставят в соответствие значения напряжений выше, чем при выбранном законе регулирования.

2.7 Выбор преобразователя частоты

В соответствии с рекомендациями [4] для регулируемого асинхронного электропривода насоса целесообразно использовать преобразователи серии АТ-24 фирмы Триол, который разработан специально для применения в гидравлических системах, в областях водоснабжения, отопления, вентиляции.

В соответствии с условием для номинального тока инвертора $I_{ин}$ преобразователя частоты

$$I_{ин} \geq I_{1лн} = 68 \text{ А}$$

Выбираем преобразователь частоты модели АТ - 24 037, параметры которого приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Технические параметры преобразователя частоты «Триол»
АТ - 24

Модель	Число фаз	Напряжение питания, В	Рекомендуемая мощность двигателя, кВт	Номинальный ток, А	Максимальный ток, А	Степень защиты
АТ - 24 037	3	380-500	37	75	120	IP21

Общие технические данные преобразователя частоты серии АТ – 24 представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Характеристики преобразователя частоты АТ - 24

Напряжение питающей сети	3 фазы, 380 В (-15%....+10%)
Частота сети, Гц	50 (-15%....+10%)
Коэффициент мощности (не менее)	0.93
Максимальная выходная частота, Гц	400
Характеристики перегрузки	120 % от номинального значения в течение 120 с
Способ управления	линейная зависимость U/f , квадратичная зависимость U/f^2 , программируемая зависимость U/f
Диапазон регулирования в разомкнутой системе	1:100
Вид регулятора для управления процессом с замкнутой обратной связью	ПИД
Виды защит	Низкое напряжение, Перенапряжение, Перегрузка по току, Перегрузка по мощности, Короткое замыкание, Перегрев двигателя, Перегрев преобразователя
Аналоговые входа	2 (программируемый 4..20 мА, 0..5 мА, 0..10 В)
Количество дискретных выходов	4 релейных выходов
Тип дискретного выхода	2 выхода переключающего типа 2 выхода нормально разомкнутого типа
Дискретные входы с выбором логики (PNP или NPN)	6

Продолжение таблицы 2.4

Количество дискретных входов	8
Тип дискретного входа	24 В, входное сопротивление: около 4 кОм, РТС датчик, переключение при сопротивлении 3 кОм/1,8кОм, аварийный стоп
Ускорение и замедление	S-образные темпы разгона/торможения, линейная настраиваемая
Физический интерфейс	2- проводной RS-485 для Modbus
Уровень защиты	IP21
температура окружающей среды	От -20°C до + 40°C
температура хранения	От 0°C до + 40°C
допустимая относительная влажность (без образования конденсата)	80%

Внешний вид преобразователя частоты серии «Триол» АТ - 24 приведен на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 – Преобразователи частоты серии «Триол» АТ - 24

Схема подключения преобразователя частоты приведена на рисунке 2.9.

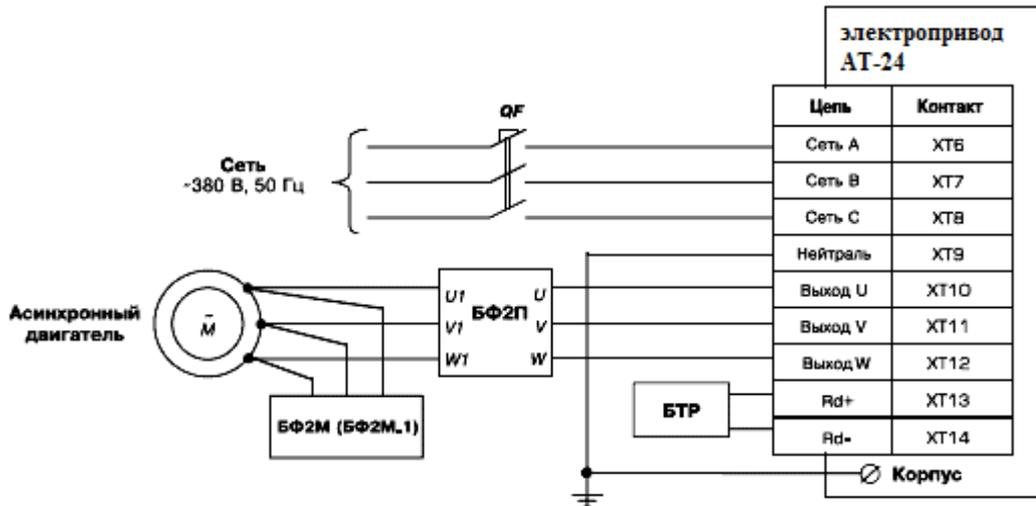


Рисунок 2.9 - Схема подключения преобразователя частоты

2.8 Расчет регулировочных характеристик системы

2.8.1 Статические характеристики системы преобразователь – двигатель при частотном регулировании

Вольт-частотная характеристика преобразователя при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$, рассчитанная по выражению [6]

$$U_1(f_1) = U_{1\text{фн}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2, \quad (2.39)$$

приведена на рис. 2.10 (характеристика 1).

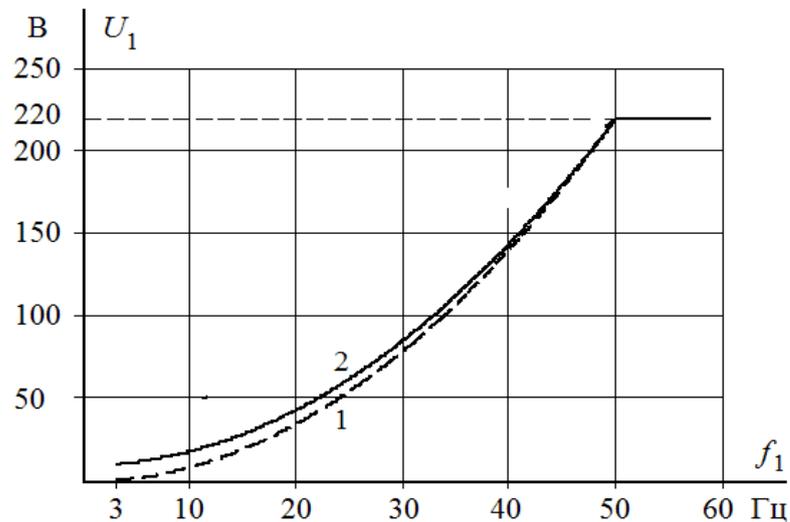


Рисунок 2.10 - Вольт-частотная характеристика преобразователя: 1 - при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ в соответствии с (2.39); 2 - при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ в соответствии с (2.41)

Максимальную частоту инвертора, соответствующую номинальному режиму работы насоса определяем из условия обеспечения номинальной рабочей скорости двигателя $\omega_{\text{дв.н}} = 307,88 \text{ рад/с}$. Принимаем максимальное значение частоты инвертора $f_{\text{и макс}} = f_{\text{ин}} = 50 \text{ Гц}$. Для обеспечения пусковой характеристики двигателя исходя из требуемого диапазона регулирования скорости 1:10, принимаем минимальную частоту инвертора $f_{\text{и мин}} = 5 \text{ Гц}$.

2.8.2 Механические характеристики системы преобразователь-двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Механические характеристики $\omega(M)$ разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ для ряда выбранных значений выходной частоты инвертора: $f_{\text{ин1}}=50 \text{ Гц}$; $f_{\text{ин2}}=30 \text{ Гц}$; $f_{\text{ин3}}=15 \text{ Гц}$; $f_{\text{ин4}}=5 \text{ Гц}$ рассчитываются с помощью программы *Mathcad* по выражениям [9]:

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

$$= \frac{3 \cdot U_1^2(f_1) \cdot 0,066}{314 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot s \cdot \left[\left(0,486 \cdot \frac{f_1}{50} \right)^2 + \left(0,162 + \frac{0,066}{s} \right)^2 + \left(\frac{0,135 \cdot 0,066}{s \cdot 11,45 \cdot \frac{f_1}{50}} \right)^2 \right]}$$

где

$$U_1(f_1) = U_{1\Phi H} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2;$$

$$\omega(s, f_1) = 314 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot (1 - s).$$

По результатам расчета на рис. 2.11 построено семейство механических характеристик $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при изменении частоты.

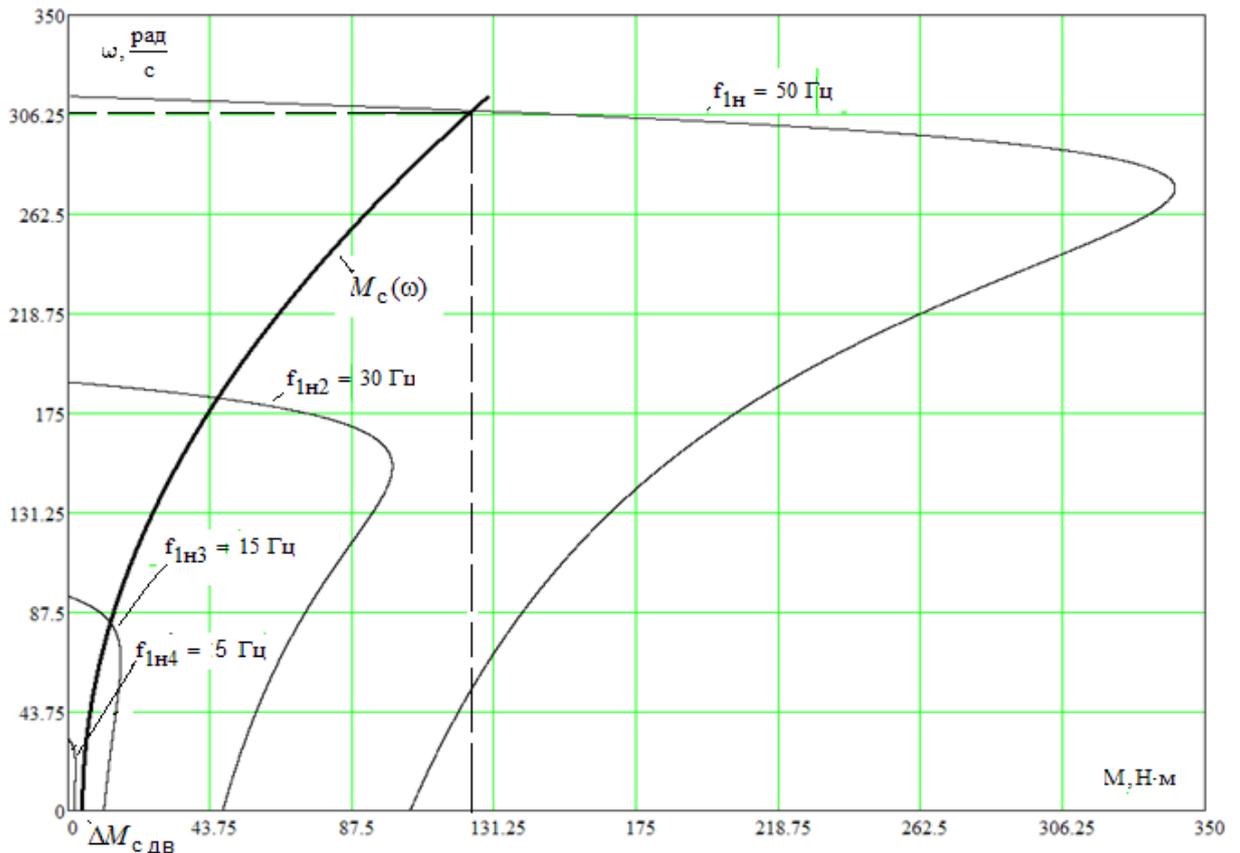


Рисунок 2.11 - Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$:

$$\Delta M_{с.дв} = 4,4 \text{ Н} \cdot \text{м}; M_{с.макс} = 124,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Анализ приведенных на рис. 2.11 механических характеристик электропривода и нагрузки показывает, что при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ не удастся обеспечить пуск электропривода при выборе начальной частоты инвертора $f_{и.мин} = 5 \text{ Гц}$.

С целью обеспечения двукратного пускового момента экспериментально выполнен подбор параметров начального участка вольт-частотной характеристики преобразователя. Окончательно выбраны для начального участка характеристики следующие параметры (рис. 2.10): $U_{1мин} = 8 \text{ В}$, $f_{и.мин} = 5 \text{ Гц}$.

В результате вольт-частотная характеристика представлена зависимостью

$$U_1(f_1) = U_{1мин} + (U_{1фн} - U_{1мин}) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}}\right)^2 = 8 + (220 - 8) \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2 \quad (2.41)$$

и приведена на рис. 2.10 (характеристика 2).

Механические характеристики системы преобразователь – двигатель, рассчитанные по выражениям 2.39) с учетом выбранной настройки вольт-частотной характеристики (2.40), приведены на рис. 2.12.

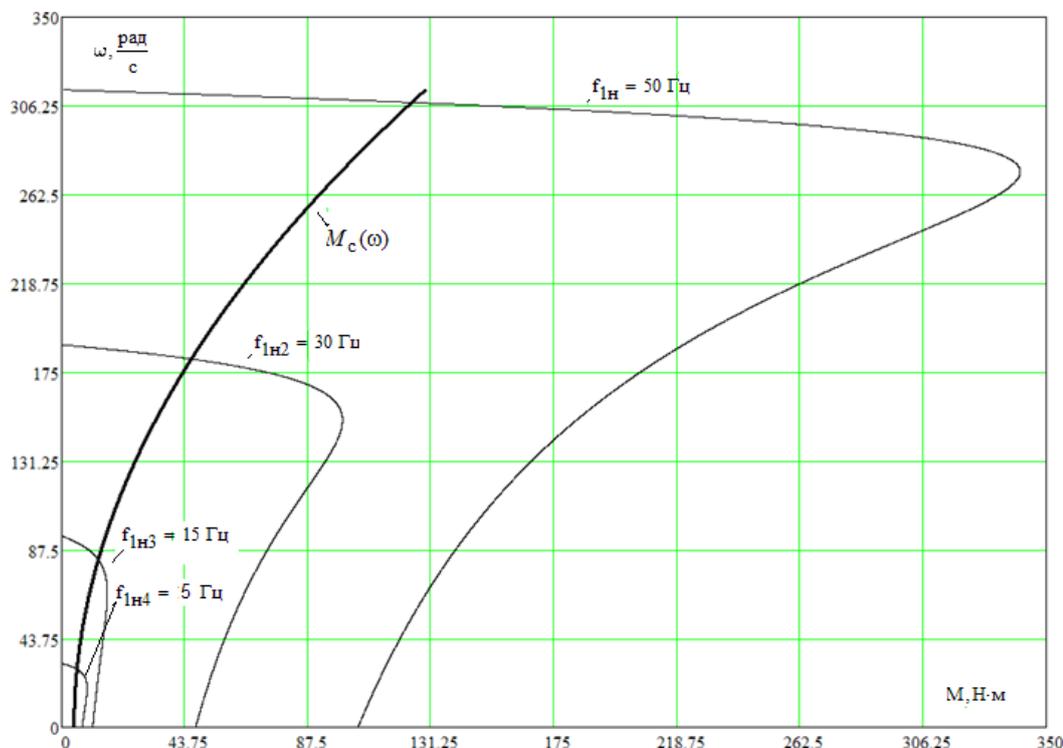


Рисунок 2.12 - Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (2.41)

2.8.3 Электромеханические характеристики системы преобразователь-двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Электромеханические характеристики $\omega(I_1)$ разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель после настройки вольт-частотной характеристики преобразователя в соответствии с (2.41) рассчитываются для выбранных ранее значений частоты по выражениям [9]:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2^2(s, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2'(s, f_1) \cdot \sin \varphi_2(s, f_1)}; \quad (2.42)$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{0,083^2 + (0,194 + 7,6)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}}; \quad (2.43)$$

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(0,165 + \frac{0,066}{s}\right)^2 + \left(0,486 \cdot \frac{f_1}{50}\right)^2 + \left(\frac{0,165 \cdot 0,066}{s \cdot 11,45 \cdot \frac{f_1}{50}}\right)^2}}; \quad (2.44)$$

$$\sin \varphi_2(s, f_1) = \frac{X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{0,486 \cdot \frac{f_1}{50}}{\sqrt{\left(0,165 + \frac{0,066}{s}\right)^2 + \left(0,486 \cdot \frac{f_1}{50}\right)^2}}, \quad (2.45)$$

где

$$U_1(f_1) = U_{1\text{мин}} + (U_{1\text{фн}} - U_{1\text{мин}}) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 = 8 + (220 - 8) \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2,$$

$$\omega(s, f_1) = 314 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot (1 - s).$$

По результатам расчета на рис. 2.13 построено семейство электромеханических характеристик $\omega(I_1)$ системы преобразователь-двигатель.

На рис. 2.12 приведена характеристика полного момента нагрузки $M_c(\omega)$, а на рис. 2.13 соответствующая ей зависимость статического тока нагрузки $I_{1c}(\omega)$, рассчитанная по выражениям (2.37) – (2.45) в интервале частот $f_1 = f_{1н1} \div f_{1н4}$ для значений скольжения s , найденных путем совместного численного решения уравнений для механических характеристик двигателя и нагрузки

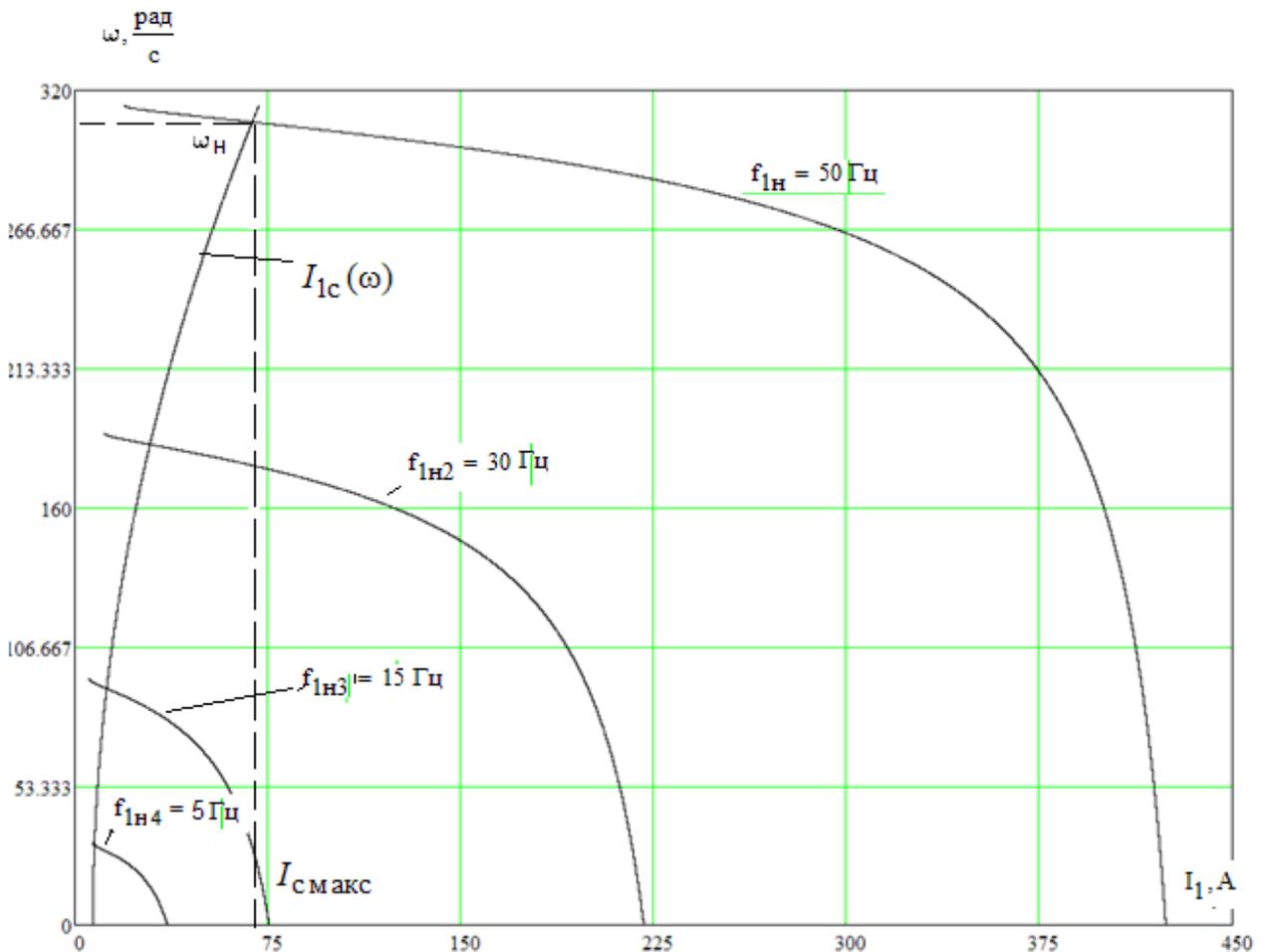


Рисунок 2.13 - Электромеханические характеристики электропривода $\omega(I_1)$ при скалярном управлении после настройки вольт-частотной характеристики в соответствии с (2.41)

Анализ приведенных на рисунках 2.12 и 2.13 характеристик электропривода и нагрузки показывает, что при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (2.41) асинхронный привод обеспечивает пуск насоса с

начальной частоты инвертора $f_{и.мин} = 5 \text{ Гц}$, заданный диапазон регулирования скорости и не менее чем двукратную максимальную перегрузку во всём диапазоне регулирования скорости.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

3.1 Частотно-регулируемый асинхронный электропривод со скалярным управлением

В силовой канал электропривода входят:

- преобразователь частоты, выполняющий функцию электрического преобразователя;
- электродвигатель, который выполняет функцию электромеханического преобразователя;
- механическая система, которая выполняет функцию механического преобразователя.

При решении задач анализа и синтеза регулируемых асинхронных электроприводов обычно применяются модели электродвигателя, составленные на базе обобщенной электрической машины и выполненные в неподвижной или вращающейся двухфазной системе координат. На рисунке 3.1 приведена структурная схема силового канала непрерывной линеаризованной системы преобразователь - асинхронный электродвигатель в неподвижной системе координат. Входными координатами структурной схемы являются составляющие напряжения управления преобразователя $U_{уп.\alpha}$ и $U_{уп.\beta}$, а выходной величиной – угловая скорость двигателя ω . Структурная схема (рисунок 3.1) характеризуется следующими промежуточными координатами:

$U_{1\alpha}, U_{1\beta}, I_{1\alpha}, I_{1\beta}, \psi_{2\alpha}, \psi_{2\beta}$ – составляющие напряжения, тока статора и потокосцепления ротора в ортогональной системе координат α и β ;

$M_{дв.эм}$ – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

Математическое описание силового канала системы преобразователь частоты - асинхронный электродвигатель (ПЧ-АД), в неподвижной системе координат α, β , ориентированной по вектору потокосцепления ротора.

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1\alpha} = R_{\vartheta} \cdot (T_{\vartheta} p + 1) \cdot I_{1\alpha} - \frac{R_2' \cdot L_{\mu}}{L_2^2} \cdot \psi_{2\alpha} - \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ U_{1\beta} = R_{\vartheta} \cdot (T_{\vartheta} p + 1) \cdot I_{1\beta} - \frac{R_2' \cdot L_{\mu}}{L_2^2} \cdot \psi_{2\beta} - \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \psi_{2\alpha} - L_{\mu} \cdot I_{1\alpha} + \frac{L_2}{R_2'} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \psi_{2\beta} - L_{\mu} \cdot I_{1\beta} + \frac{L_2}{R_2'} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ M_{\text{дв.эм}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot z_p \cdot (\psi_{2\alpha} \cdot I_{1\beta} - \psi_{2\beta} \cdot I_{1\alpha}); \\ \omega = \frac{1}{J_p} \cdot (M_{\text{дв.эм}} - M_c \cdot \text{sign}(\omega)) \end{array} \right.$$

На основании данной системы уравнений была составлена структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат α, β и реактивной нагрузкой приведена на рис. 3.1. Входными величинами на структурной схеме рис. 3.1 являются напряжения переменного тока – фазные напряжения статорных обмоток двухфазного АД:

$$U_{1\alpha}(t) = U_{1m} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t); \quad U_{1\beta}(t) = U_{1m} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t). \quad (3.1)$$

Параметры звеньев структурной схемы двигателя.

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора

$$L_1 = L_{1\delta} + L_{\mu} = 6,5 \cdot 10^{-4} + 0,036 = 0,0366 \text{ Гн}; \quad (3.2)$$

– ротора

$$L_2 = L_{2\delta} + L_{\mu} = 8,8 \cdot 10^{-4} + 0,036 = 0,0369 \text{ Гн}. \quad (3.3)$$

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,036^2}{0,0366 \cdot 0,0369} = 0,04. \quad (3.4)$$

Эквивалентное сопротивление

$$R_3 = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_1^2}{L_2^2} = 0,162 + 0,066 \cdot \frac{0,036^2}{0,0369^2} = 0,225 \text{ Ом.} \quad (3.5)$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_3 = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_3} = \frac{0,04 \cdot 0,0366}{0,225} = 0,0065 \text{ с;} \quad (3.6)$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{0,0369}{0,066} = 0,56 \text{ с.} \quad (3.7)$$

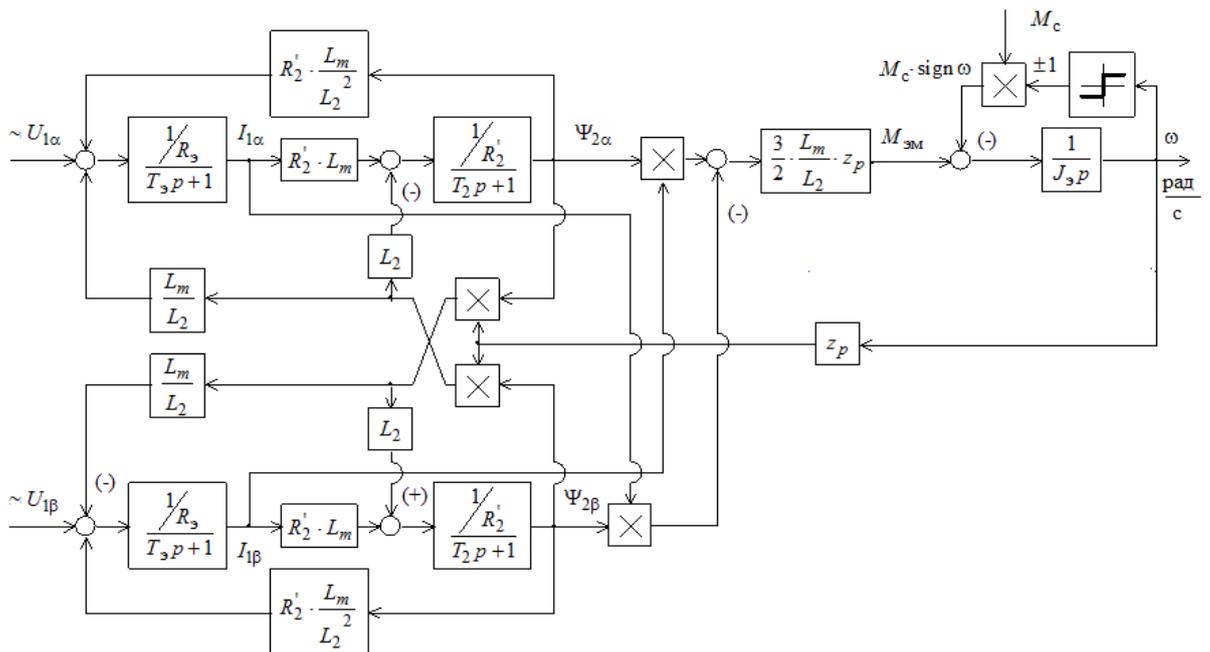


Рисунок 3.1 - Структурная схема силового канала системы ПЧ-АД в неподвижной двухфазной системе координат α, β

В пакете Simulink системы Matlab на основе структурной схемы рисунка 3.1 разработана имитационная модель силового канала системы ПЧ-АД в неподвижной системе координат и приведена на рисунке 3.2 [9].

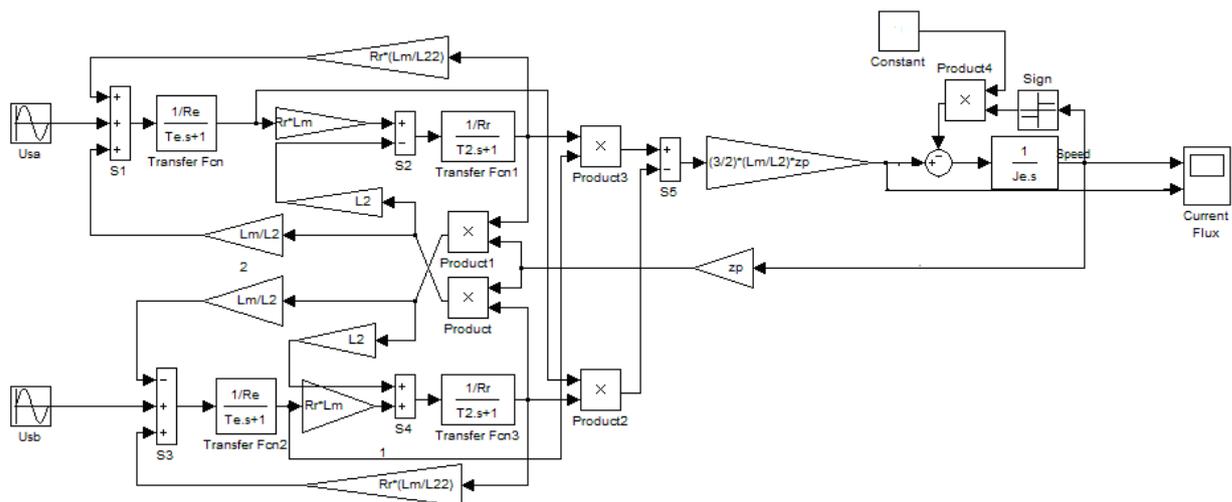


Рисунок 3.2 – Имитационная модель силового канала системы ПЧ-АД

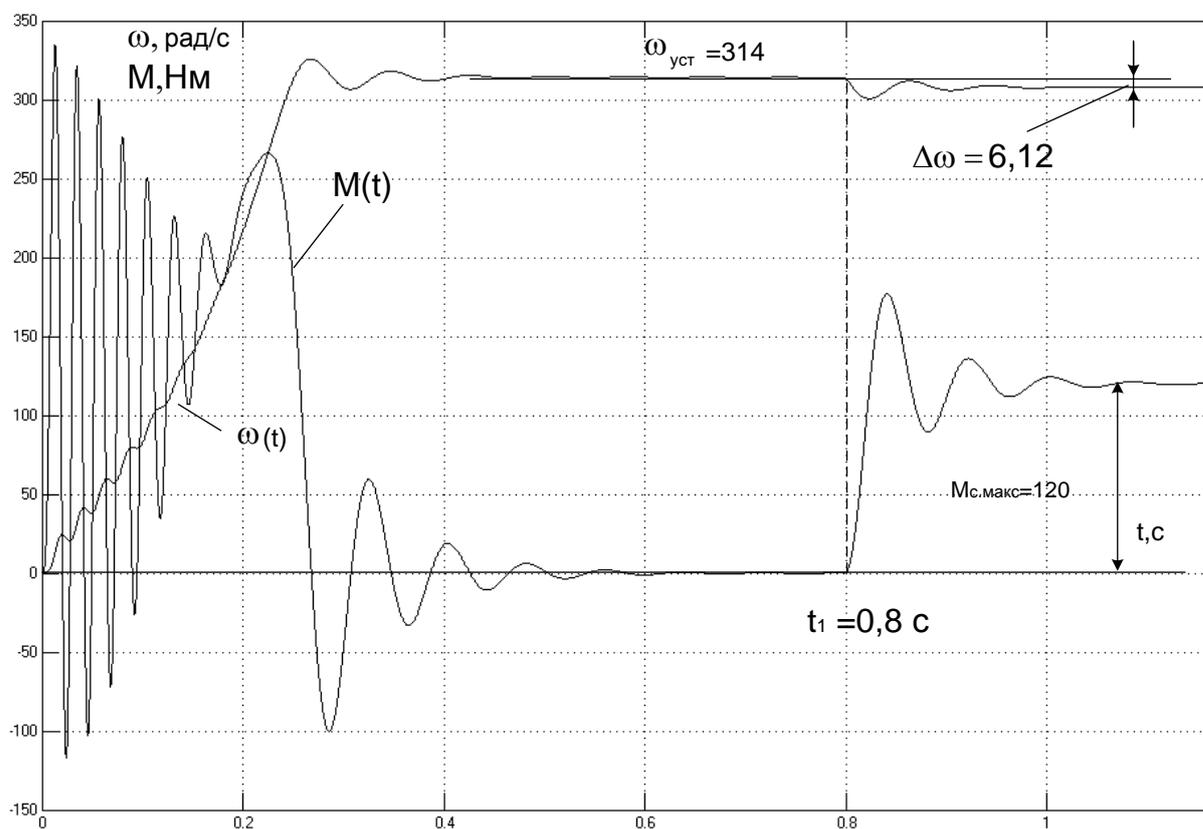


Рисунок 3.3 – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске и набросе нагрузки

$$M_{c.макс} = 120 \text{ Нм}$$

Переходные процессы скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске и набросе нагрузки $M_{с.макс}=120$ Нм, полученные на этой модели приведены на рисунке 3.3.

Как видно из графика, при набросе нагрузки, равной номинальному моменту двигателя, частота вращения вала двигателя уменьшается с синхронной $\omega_0 = 314$ рад/с до $\omega_{дв.н} = 307,8$ рад/с, величина скольжения

$$s_n = \frac{\omega_0 - \omega_{дв.н}}{\omega_0} = \frac{314 - 307,8}{314} \cdot 100 = 2\% \quad (3.8)$$

соответствует номинальному значению (таблица 2.1).

3.2 Функциональная схема системы скалярного частотного управления

В простейшем случае частотно-регулируемый асинхронный электропривод со скалярным управлением реализуется по разомкнутой структуре.

Функциональная схема такого частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением, выполненная по разомкнутой структуре, приведена на рисунке 3.4. АД выполнен в виде двухфазной модели в неподвижной системе координат α, β [9]. На функциональной схеме символом * обозначены сигналы задания и управления и приняты следующие обозначения:

ω - фактическое значение угловой скорости вращения двигателя;

ЗИС - задатчик интенсивности скорости с линейной характеристикой;

ФНУ - формирователь напряжений управления двухфазным АД, который формирует два напряжения переменного тока U_α^* и U_β^* при применении

структурной схемы АД в неподвижной системе координат статора α, β ;

ФФН – формирователь фазных напряжений двухфазного двигателя.

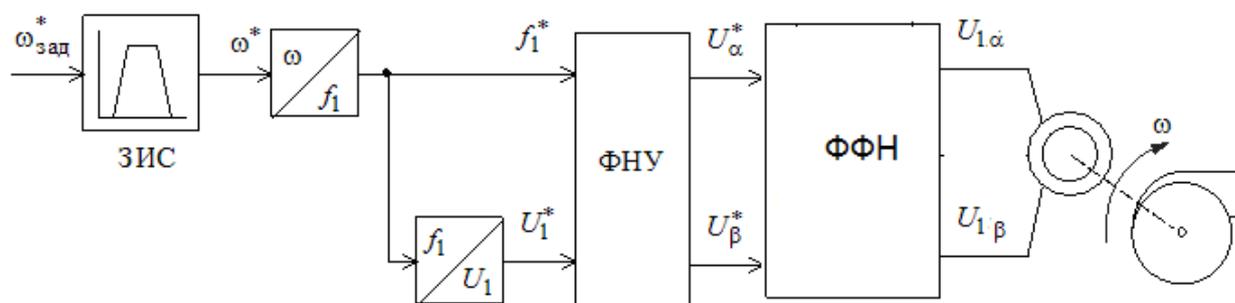


Рисунок 3.4 - Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

В разомкнутой системе электропривода со скалярным управлением при уменьшении частоты максимальный момент двигателя уменьшается. Основная причина этого – возрастания влияния активного сопротивления обмотки статора при снижении частоты питающего напряжения. При законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$, как было показано выше, с целью обеспечения пускового момента на малых скоростях в преобразователе должна быть предусмотрена функция корректировки (повышение начального значения напряжения) вольт-частотной характеристики в области малых частот выходного напряжения инвертора. Либо, как показано в [9], можно применить так называемую IR - компенсацию (повышение фазного напряжения инвертора на величину падения напряжения на обмотке статора $I_1 \cdot R_l$) в области малых частот.

Для ограничения момента и тока АД в пуско-тормозных режимах электропривода механизмов, у которых по технологии невозможны механические перегрузки (к таким механизмам можно отнести привод насосов), достаточно применения задатчика интенсивности с линейной характеристикой, который устанавливается на входе электропривода в канале задания скорости.

В соответствии с функциональной схемой, представленной на рисунке 3.6, из библиотеки имитационных моделей систем ПЧ-АД, предложенных [10] в среде *Simulink* системы *MatLab* выбираем модель, показанную на

рисунке 3.5. Имитационные модели входящих в нее блоков представлены на рисунках 3.6 -3.11.

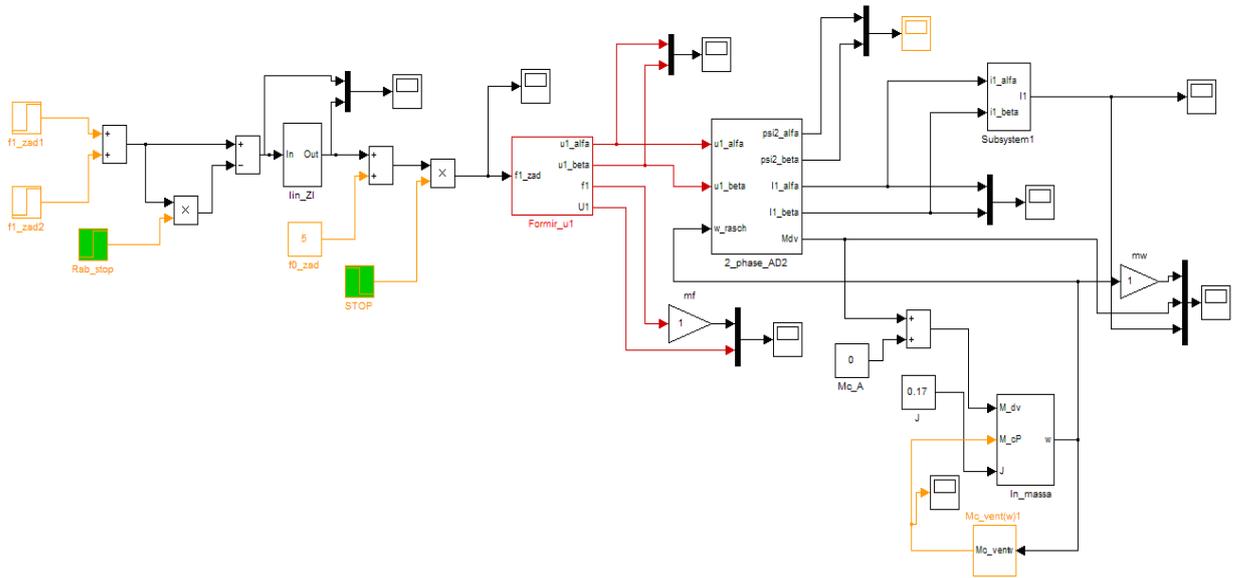


Рисунок 3.5 - Имитационная модель разомкнутой системы ПЧ-АД со скалярным управлением

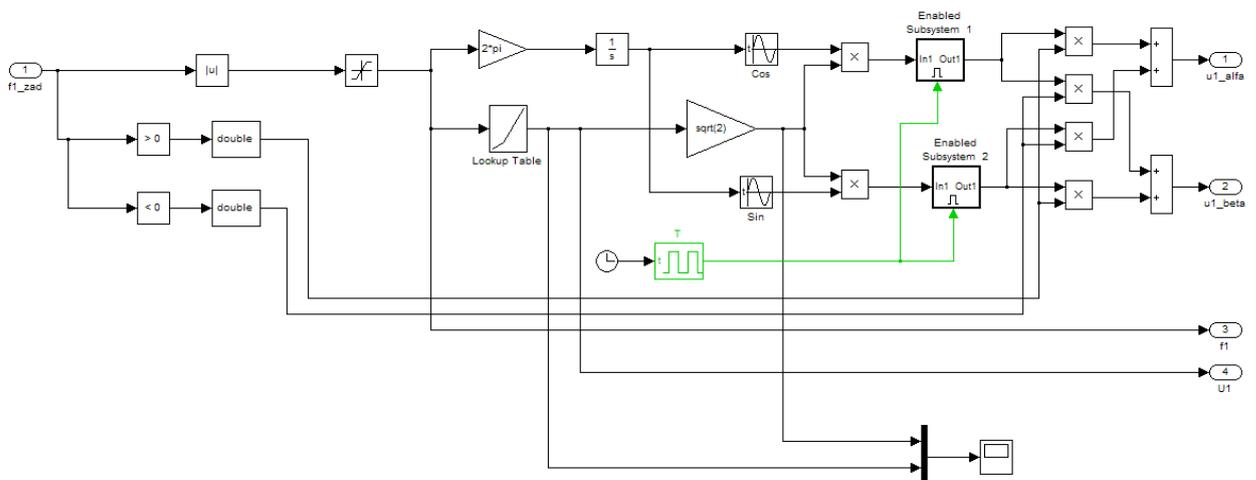


Рисунок 3.6 - Имитационная модель формирователя фазных напряжений статорных обмоток двухфазного двигателя в неподвижной системе координат α, β

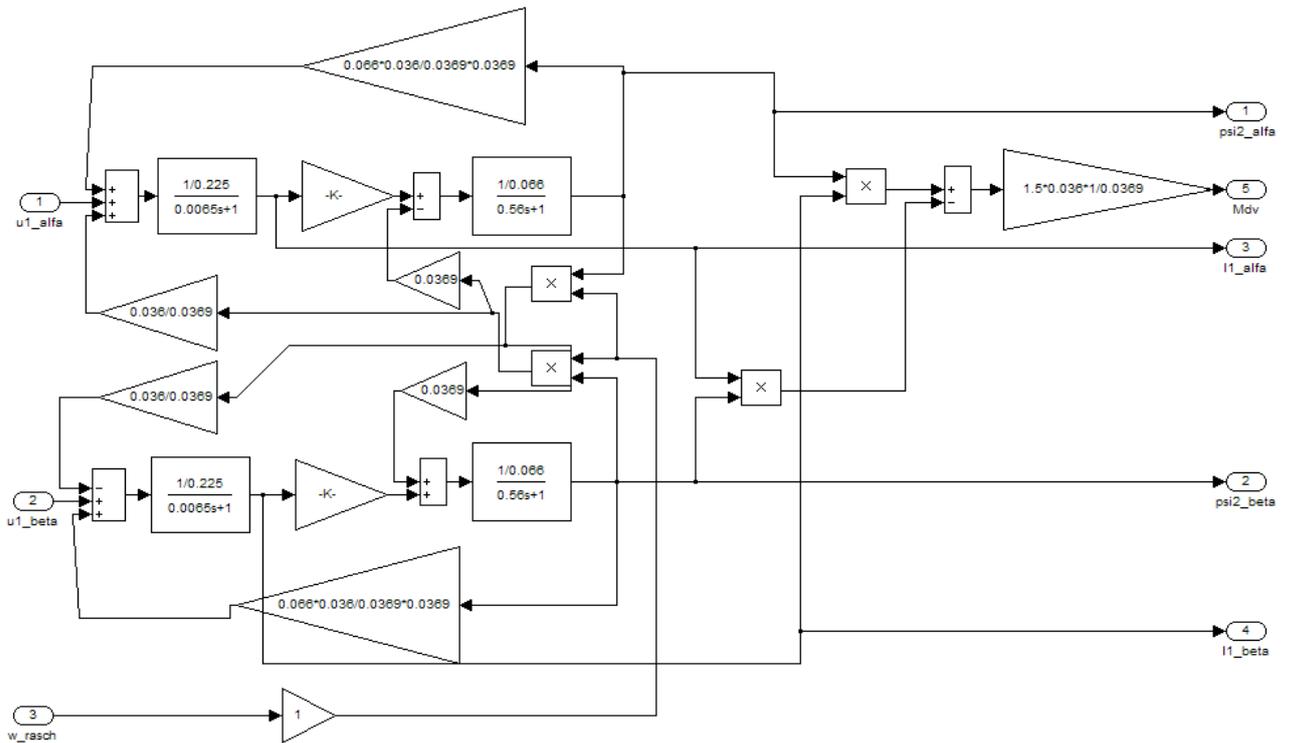


Рисунок 3.7 - Имитационная модель АД в неподвижной системе координат α, β

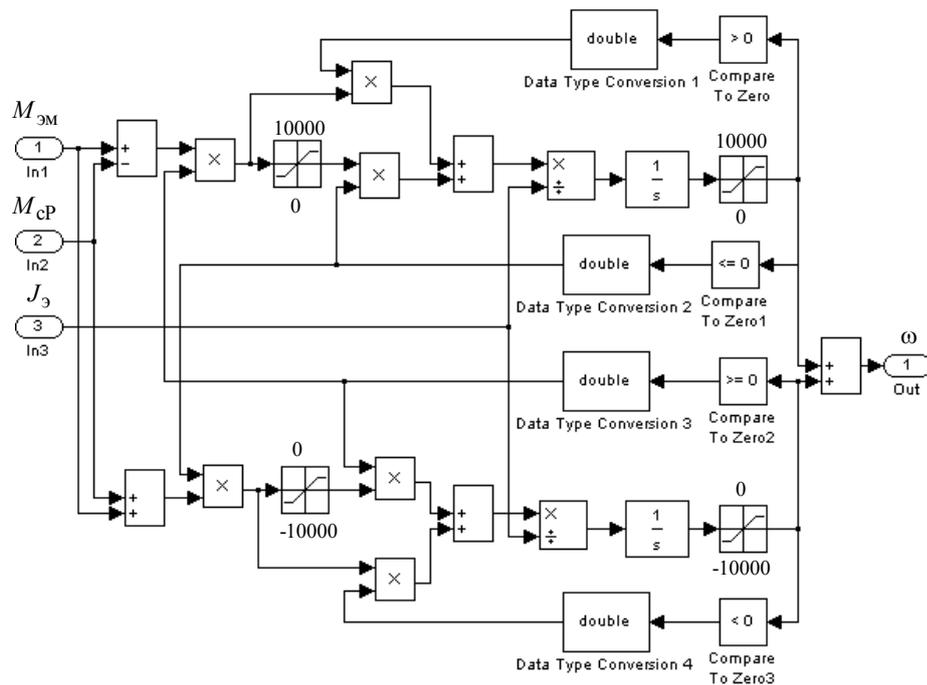


Рисунок 3.8 – Имитационная модель одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера

Имитационная модель, представляющая насосную нагрузку, согласно выражению (2.38)

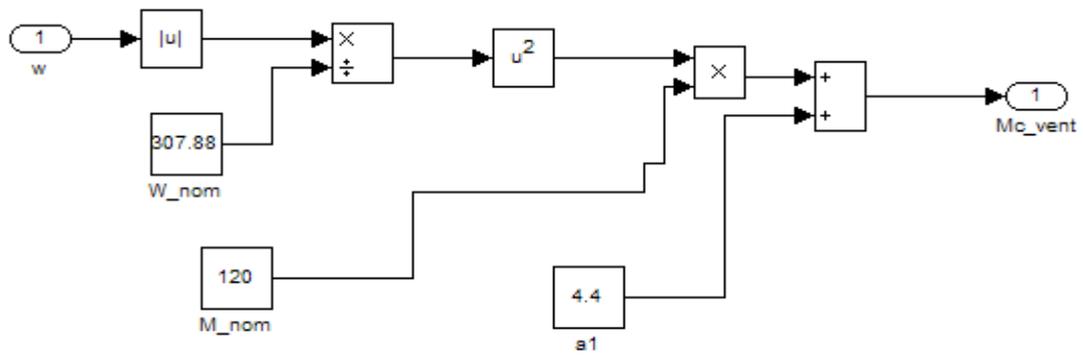


Рисунок 3.9 – Имитационная модель насосной нагрузки

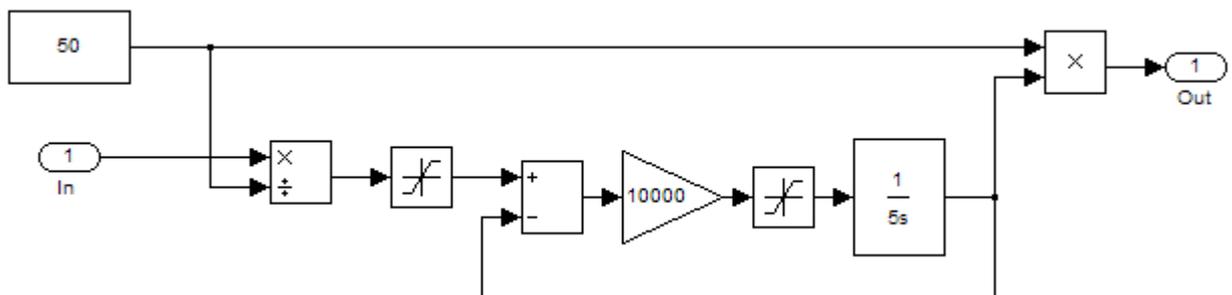


Рисунок 3.10 – Имитационная модель задатчика интенсивности с линейной выходной характеристикой

На рисунке 3.11 представлена математически рассчитанная и аппроксимированная ломаными линиями кривая зависимости $U_1/f_1^2 = \text{const}$.

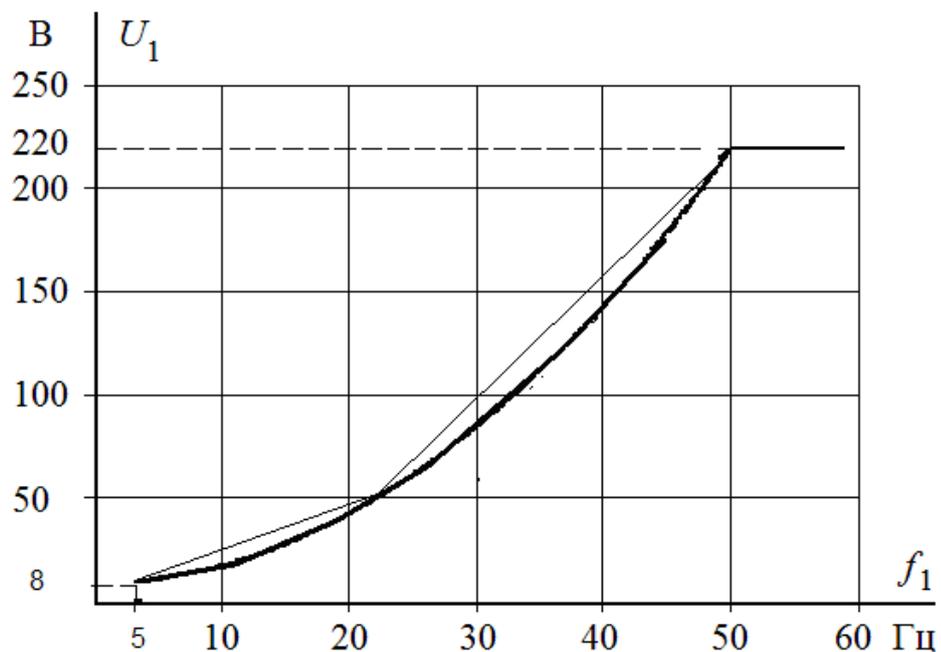


Рисунок 3.11 - Кривая зависимости $U_1(f_1)$

Кривая зависимости $U_1(f_1)$ аппроксимируется отрезками прямых представлена в таб.3.1, и набрана в нелинейном блоке *Lookup Table* в имитационной модели формирователя фазных напряжений.

Таблица 3.1- Параметры вольт-частотной характеристики преобразователя

$f_1, \text{Гц}$	5	22	50
$U_1, \text{В}$	8	50	220

Имитацию квантования по времени фазных напряжений на выходе автономного инвертора напряжения преобразователя частоты (рис. 5.9), происходящее в процессе его широтно-импульсной модуляции (ШИМ) производится с помощью стандартных блоков библиотеки *Simulink* : *Pulse Generator* и *Enabled Subsystem* [9].

Период квантования по времени напряжения инвертора ПЧ принимаем равным величине постоянной времени запаздывания при ШИМ

$$T_{\text{ин}} = \frac{1}{f_{\text{нч}}} = \frac{1}{10000} = 0,0001 \text{ с}, \quad (3.9)$$

где $f_{\text{нч}} = 10000 \text{Гц}$ - несущая частота инвертора.

3.3 Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса со скалярным управлением

Имитационные исследования электропривода насоса проводятся с целью проверки его работоспособности в следующих основных технологических режимах: пуск на любую рабочую скорость насоса; переход с одной рабочей скорости насоса на другую и останов насоса в режиме электрического торможения. В процессе имитационных исследований рассмотрим следующие режимы работы системы электропривод – насос [9]:

- пуск электропривода на минимальную рабочую скорость;
- пуск электропривода с минимальной рабочей скорости на максимальную;

– торможение электропривода с максимальной скорости до минимальной;

– останов электропривода.

К электроприводу насоса не предъявляется жестких требований к динамическим показателям. Поэтому при выборе параметров настройки задатчика интенсивности скорости прежде всего следует исходить из условия обеспечения мягкого пуска электропривода. В ходе имитационных экспериментов установлено, что для обеспечения мягкого пуска насоса достаточно принять постоянную времени задатчика $T_{зи} = 5$ с.

В качестве примера рассмотрена отработка электроприводом насоса следующего цикла:

– пуск на минимальную частоту $f_{и.мин} = 5$ Гц

– переход на максимальную рабочую скорость насоса ($f_{р.макс} = 50$ Гц)

– переход на минимальную частоту $f_{и.мин} = 5$ Гц.

– останов электропривода.

На рис. 3.12 приведены временные характеристики отработки электроприводом насоса с законом регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и настройкой вольт-частотной характеристики в соответствии с (таб.4.1) принятого цикла работы.

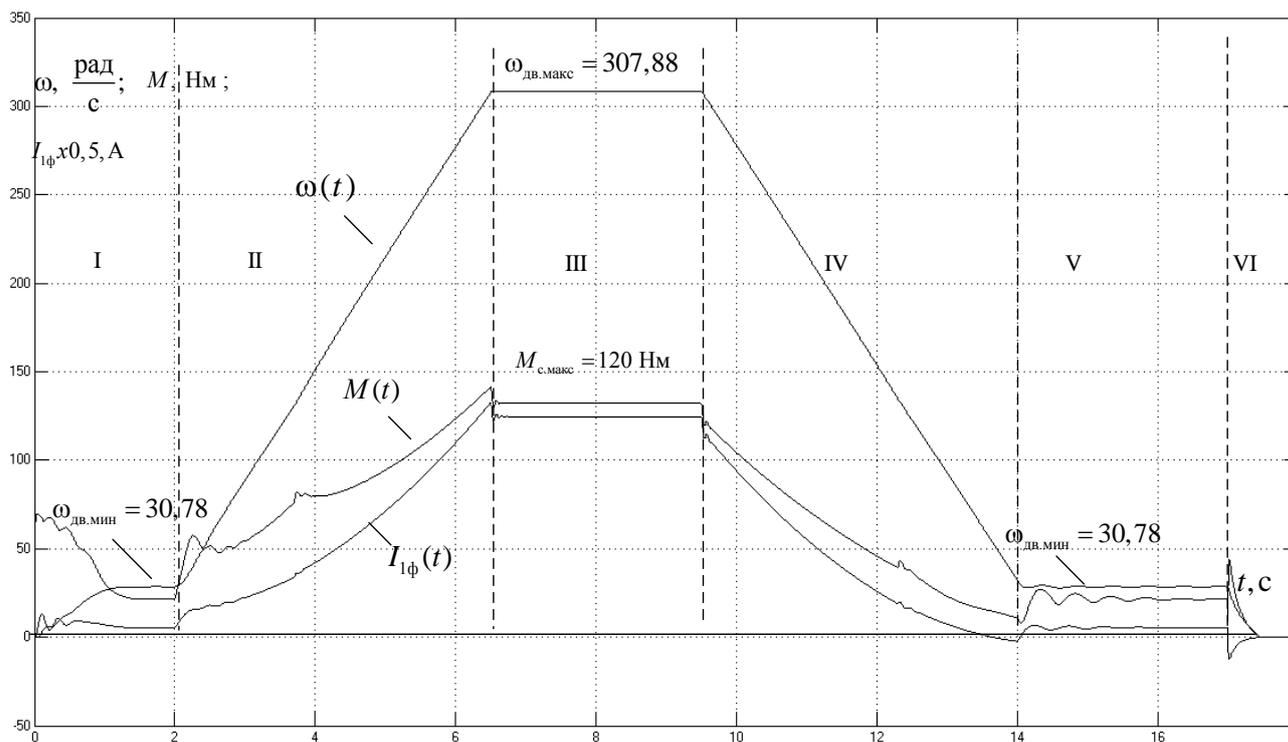


Рисунок 3.12 – Результаты имитационных исследований отработки электроприводом насоса заданного цикла при настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (таб.3.1): графики переходных процессов – скорости $\omega(t)$, момента $M(t)$, фазного тока двигателя $I_{1\phi}(t)$

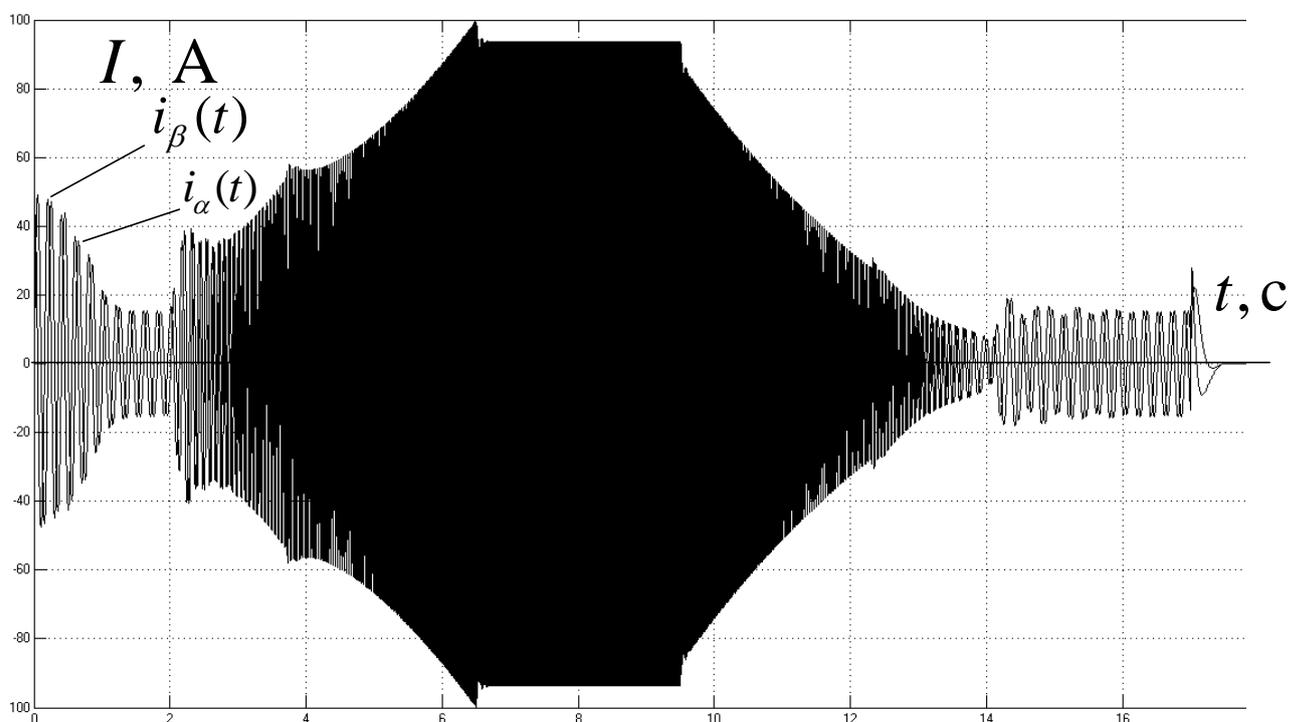


Рисунок 3.13 – Результаты имитационных исследований отработки электроприводом вентилятора заданного цикла при настройке вольт-

частотной характеристики в соответствии с (таб.3.1): графики переходных процессов – фазных токов двигателя $i_\alpha(t)$ и $i_\beta(t)$

Выводы. Полученные результаты имитационных исследований доказывают, что частотно-регулируемый асинхронный электропривод насоса под «вентиляторной» нагрузкой при скалярном управлении с законом управления $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и корректировкой вольт-частотной характеристики в соответствии с (2.41) обеспечивает пуск электропривода с начальной частоты $f_{\text{и. мин}} = 5$ Гц и требуемый диапазон регулирования скорости насоса. Переходные процессы в электроприводе протекают плавно с ограничением динамического момента, токов двигателя и преобразователя. Время пуска и электрического торможения электропривода определяется и может быть изменено путём выбора значения постоянной времени задатчика скорости.

4. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНЫМ АГРЕГАТОМ «А1СЦН»

Для управления насосным агрегатом разработаем шкаф управления (далее по тексту ШУ), который включает в себя силовую схему и схему управления. ШУ представляет собой металлический модуль, защищенный от коррозии эмалью. Внутри шкафа размещаются аппараты защиты и управления соединенные в электрическую систему проводниками. Электрическая принципиальная схема агрегата и схема управления представлена на рисунках 4.1 и 4.2.

Принцип работы проектируемой схемы рассматривается с рисунками 4.1 и 4.2.

Схема выполнена для двух режимах работы агрегата:

1. «Основной» когда работа электродвигателя агрегата происходит по схеме частотный преобразователь-двигатель.
2. «Резервный» когда электродвигатель подключается напрямую в сеть.

Резервный режим работы используется в случае выхода преобразователя из строя [13].

4.1 Основной режим работы

Для начала работы агрегата необходимо:

- Подать питающее напряжение 380 В. от силовой сборки.
- Включить автоматический выключатель QF4 подающий напряжение на реле контроля напряжения и чередования фаз KV1H. При этом на панели прибора должна загореться световой индикатор работы реле. Если он не загорается, необходимо на вводном питающем кабеле на клеммной колодке ЩУ поменять местами две фазные жилы кабеля.

- Включить автоматический выключатель QF1 подающий напряжение на силовые контакты ПЧ.

- Включить QF2, и QF3 подающие напряжение на главные контакты контакторов КМ3 и КМ4 насосных агрегатов М1 и М2.

- Включить автоматический выключатель QF7, подающий питающее напряжение на преобразователь.

- Включить QF5, подающий напряжение на сеть освещения насосного модуля.

- Включить QF6, питающий схему управления.

- С помощью переключателя SA1 «Выбор режима» выбрать режим работы. Положение в режиме «Осн.» - основной, это работа агрегата по системе ПЧ-АД.

- Переключателем SA2 «Выбор насоса» выбираем необходимый для работы агрегат.

Перед включением насосного агрегата необходимо заземляющий проводник устройства заземления автоцистерны УЗА-4К присоединить к металлической конструкции рамы топливозаправщика и затем к блоку контроля заземления. Без выполнения этой операции запуск НА невозможен (включена блокировка – контакт «УЗА» разомкну).

Включение АФТ в работу производится нажатием кнопки SB3 «Пуск», расположенной непосредственно на насосном модуле.

После нажатия кнопки SB3 подается напряжение на катушку К1, К2, и реле времени КТ1, замыкается контакт К2.1, реле Р1, Р2 тем самым подается напряжение на катушку КМ1 или КМ2 (в зависимости от выбранного насоса) включается контактор КМ1 или КМ2, загорается световая индикация «Работа ПЧ», контакт К1.2 разомкнут. Для отключения агрегата необходимо нажать кнопку на насосном модуле SB2, тем самым разъединить цепь управления, что приведет к исчезновению напряжения на катушках указанных вначале абзаца. В экстренных случаях остановить работу агрегата можно с помощью выключателя «аварийный стоп» SB1 который расположен

также на насосном модуле. Нажатием также разрывается цепь системы управления, что обесточивает катушки коммутирующих устройств.

Для проведения работ в темное время суток в ЩУ предусматривается система управления рабочим освещением в насосном модуле. Для включения освещения необходимо включить выключатель SB5, тем самым на катушку контактора KM5 будет подано напряжение, замкнется контакт KM5, силовые контакты KM5 сомкнутся. Для отключения освещения рабочего места нажать кнопку SB4, цепь управления контактором KM5 разомкнется и аппарат отключится. Кнопочные посты SB5 и SB4 расположены на раме насосного модуля.

4.2 Резервный режим работы

Для включения агрегата прямым пуском от сети необходимо переключатель SA1 установить в положение «Рез.». После нажатия кнопки SB3 подается напряжение на катушку K2, и реле времени КТ1, замыкается контакт К2.1, реле P2, на катушку KM3 или KM4 (в зависимости от выбранного насоса) подается напряжение, включается контактор KM3 или KM4, загорается световая индикация «Работа ПЧ». Для отключения агрегата необходимо нажать кнопку на насосном модуле SB2, тем самым разъединить цепь управления, что приведет к исчезновению напряжения на катушках указанных вначале абзаца. Аварийный стоп работает по аналогии основного режима.

4.3 Система защит

Для защиты агрегата и оборудования в целом в ЩУ предусматриваются следующие виды защит:

-защита от сухого хода (привключение агрегата без подачи перекачиваемой жидкости);

-защита от превышения предельно-допустимого давления в напорном трубопроводе (при включение агрегата на закрытую выходную задвижку);

-защита электродвигателя от аварийных режимов питающей сети, и отклонений её параметров от допустимых (перекос фаз, пропадание одной или двух фаз, перенапряжение сети, недопустимо низкое напряжение сети).

4.3.1 Защита от сухого хода

После нажатия кнопки SB3 запускается электронасосный агрегат (работа аппаратов описана выше), подается напряжение на катушку КТ1 и реле времени начинает отсчет 10 с, контакт КТ1.2 разомкнут, КТ1.1 замкнут. От электроконтактного манометра (далее по тексту ЭКМ) поступает сигнал $P_{\text{мин}}$ об отсутствии давления на выходе из агрегата (так как насос еще не вышел на номинальную частоту вращения), контакты сигнализатора МС-1 (далее по тексту сигнализатор) $SP_{\text{мин}}$ нормально разомкнутый сомкнулся, нормально замкнутый разомкнулся. По истечении 10 с контакт КТ1.2 замыкается, КТ1.1 размыкается и если сигнал от ЭКМ $P_{\text{мин}}$ продолжает поступать контакты сигнализатора находятся в прежнем состоянии, цепь управления рвется и агрегат останавливается, световой индикатор показывает «сухой ход». Если сигнал от ЭКМ пропадает, то контакты $SP_{\text{мин}}$ сигнализатора пришли в нормальное состояние и агрегат продолжает работу.

4.3.2 Защита от превышения предельно-допустимого давления

Если после запуска агрегата с ЭКМ пришел сигнал $P_{\text{макс}}$ контакты сигнализатора $SP_{\text{макс}}$ нормально разомкнутый сомкнулся, нормально замкнутый разомкнулся, на катушку К3 подается питание, включается реле РЗ. Агрегат останавливается так как цепь управления разорвалась, световая индикация указывает «Авария ПЧ».

4.3.3 Защита электродвигателя от аварийных режимов питающей сети

В случае отсутствия одной или двух фаз, выход значения напряжения питающей сети за допустимые параметры контакт реле напряжения KV1H размыкается, и цепь управления рвётся, агрегат останавливается.

Защита от недопустимых параметров входной сети выполнена как на электромеханических устройствах, так и на микропроцессорной системе управления ПЧ. Это выполнено с целью дублирования защит и для случая работы агрегата в режиме «резервный», так как в этом режиме ПЧ не управляет работой агрегата.

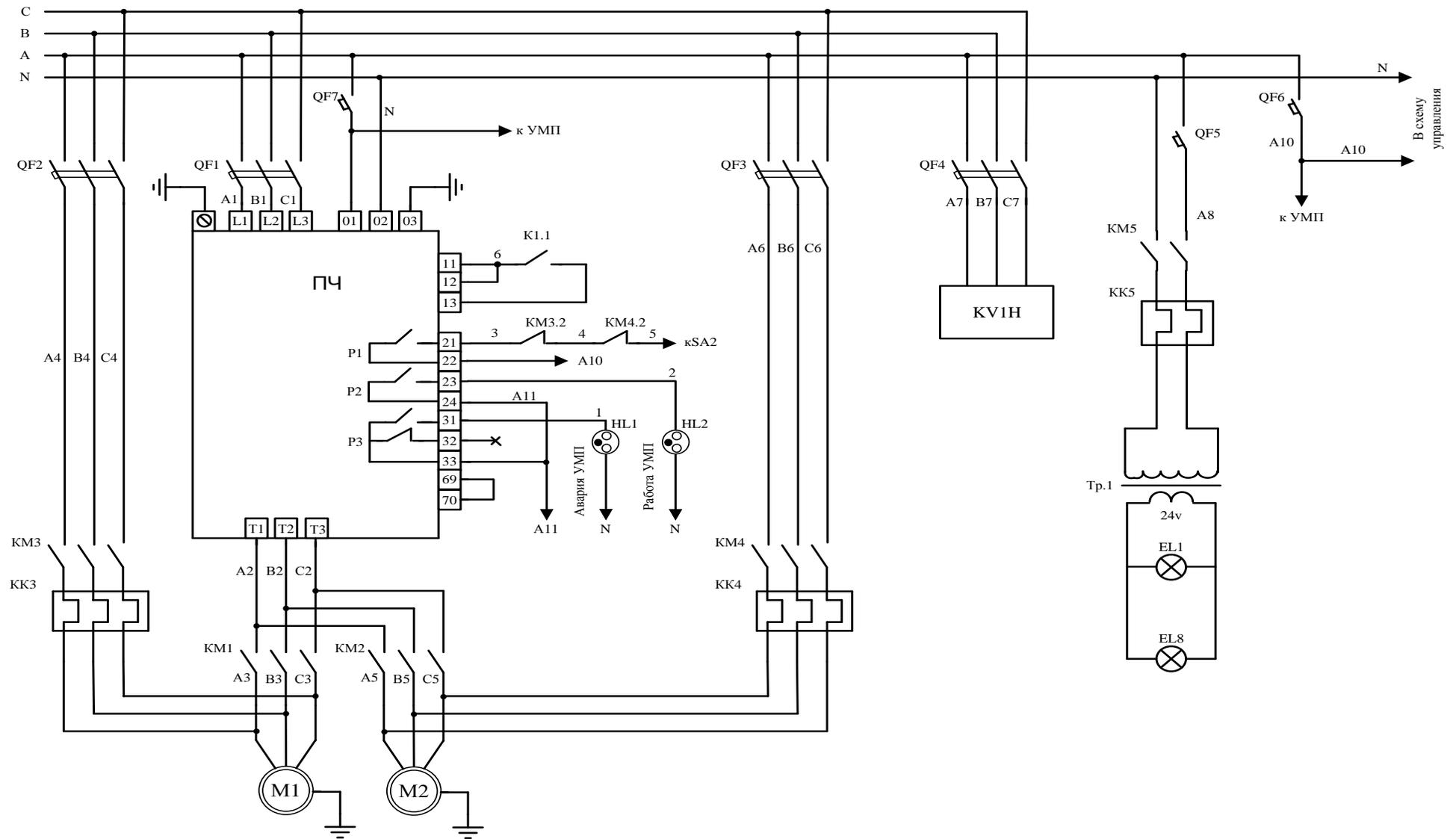


Рисунок 4.1 Принципиальная схема электроснабжения электронасосного агрегата А1СДН

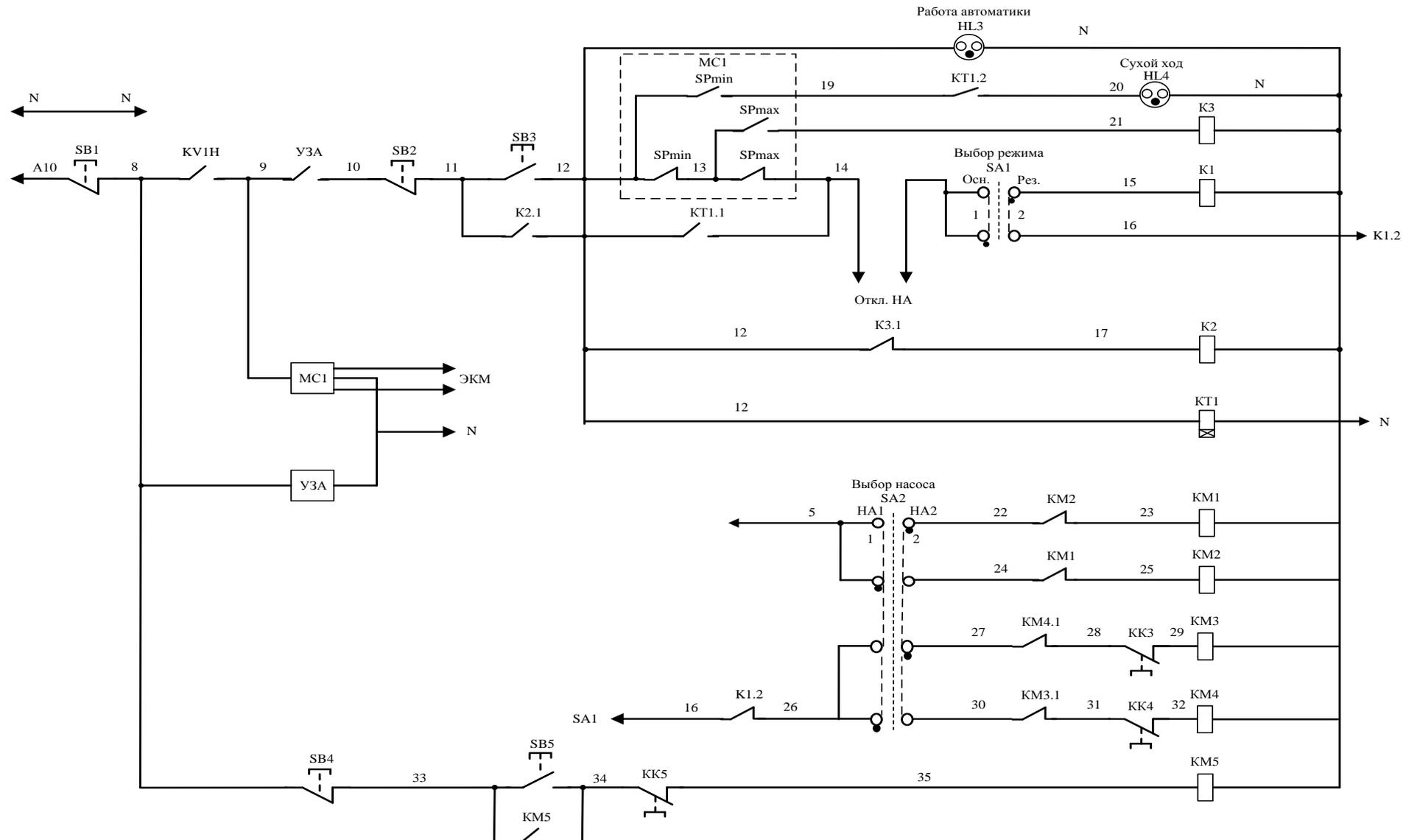


Рисунок 4.2 Схема управления электронасосного агрегата А1СЦН

4.4 Выбор силового кабеля и аппаратов защиты

4.4.1 Выбор аппаратов

Автоматические выключатели (АВ) QF1, QF2, QF3, (рисунок 4.1) обеспечивают функции коммутации силовых цепей и защиты электрооборудования от перегрузки и коротких замыканий. АВ имеют тепловой расцепитель и электродинамический расцепитель. АВ выбирают по их номинальному току. Уставки токов расцепителей определяются по следующим соотношениям:

Ток уставки теплового расцепителя:

$$I_T \geq 1,25 \cdot I_n .$$

Ток уставки электродинамического расцепителя:

$$I_{эм} \geq 1,2 \cdot I_{пуск} ,$$

где I_n - номинальный ток электроприемника;

$I_{пуск}$ - пусковой ток электродвигателя.

Выбор автоматического QF1, QF2, QF3.

Номинальный ток двигателя ВА200М2 $I_{дв.н} = 68\text{А}$; кратность пускового тока из таблицы 2.1 $k_{пуск} = I_{пуск}/I_{дв.н} = 7$

$$I_T \geq 1,25 \cdot I_{дв.н} = 1,25 \cdot 68 = 85 \text{ А}; \quad (4.1)$$

$$I_{эм} \geq 1,2 \cdot I_{пуск} = 1,2 \cdot 476 = 571 \text{ А}. \quad (4.2)$$

Используя справочную литературу [15] выбираем автоматический выключатель переменного тока типа АЕ2056М-10Р-100 А-10 I_n -400 АС-У3 с параметрами $I_{н.ав} = 100 \text{ А}$, напряжение $U_{н.ав} = 400 \text{ В}$, кратность тока уставки электродинамического расцепителя:

$$k_{эм} = I_{пуск}/I_{н.ав} = 571/100 = 5.7 \quad (4.3)$$

Выбираем реле перегрузки теплового РТЛ–20-64-2-100А-(80-93А)-УХЛ4

с параметрами $I_{н.р.} = 100 \text{ А}$, диапазон регулировки теплового расцепителя от 80 до 93 А. Тепловые расцепители устанавливаем на

отходящие силовые контакты контактора КМ3 и КМ4 (на рисунке 4.2 указан размыкающий контакт расцепителя КК3, КК4), на контакторы КМ1 и КМ2 установка расцепителей не требуется.

Выбираем контактор КМ1 (КМ1=КМ2=КМ3=КМ4). Контактор ПМ12-100150-100А-220АС-УХЛ4 с параметрами $I_{н.р.} = 100$ А, напряжение катушки $U_c = 220$ В, 1 вспомогательный размыкающий контакт и 1 вспомогательный замыкающий контакт [15].

4.4.2 Выбор силового кабеля

Для передачи электрической энергии от шин РУ до ЩУ, от QF1 до преобразователя (смотреть с рисунком 4.1), от преобразователя до силовых контактов КМ1 (КМ2), от QF2 до силовых контактов КМ3, от QF3 до силовых контактов КМ4 и далее от силовых контактов КМ1, КМ2, КМ3, КМ4 до электронасосного агрегата, необходимо выбрать проводник.

Кабельная линия выбирается по целесообразному экономическому сечению токопроводящей жилы, которое определяется по формуле [16]

$$F_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}}, \quad (4.4)$$

где I_p – расчётный ток установки, А;

$j_{эк}$ – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм².

Используя исходные данные и справочную литературу найдем величину $j_{эк} = 3,5$ (А/мм²) при числе часов использования максимума нагрузки в год от 1000 до 3000ч.

$$F_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}} = \frac{68}{3,5} = 19,4 \text{ мм}^2$$

Выбираем кабель марки (ВБбШ(в)нг 4х25)

Расшифровка ВБШвнг(А) 4х25:

В- оболочка из ПВХ пластика

Б – бронирование с помощью стальных лент

Шв – наружный ПВХ шланг

нг – при производстве используется ПВХ пластикат пониженной горючести

(А) – разрешена групповая прокладка.

$I_{\text{доп.табл.}} = 138$ (А) данного кабеля. Необходимо учитывая поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле

$$k_{np} [3] I_{\text{доп}} = k_{np} \cdot I_{\text{доп.табл}} = 0,85 \cdot 138 = 117,3 \text{ (А)}.$$

Если кабель выбран, верно, то должно выполняться условие $I_p \leq I_{\text{доп}}$
 $68 < 117,3$ (А), условие выполняется.

5. ПОИСК НЕИСПРАВНОСТЕЙ.

В процессе работы электрооборудования электронасосного агрегата может произойти его отказ. Отказ образуется в результате возникновения неисправности в системе оборудования. Неисправности могут быть вызваны нарушениями в питающей сети, выходом из строя элементов схемы и отказом самого агрегата.

Основной причиной неисправности могут быть:

- авария сети;
- перегрузка двигателя, вызванная выходом из строя механических элементов агрегата (подшипники АД, подшипники насоса СЦН);
- короткое замыкание в линии от ЩУ до электродвигателя;
- нарушения в технологическом процессе, которые вызывают срабатывание защит, предусмотренные в щите управления агрегата (сухой ход, превышение давления в трубопроводе).

Возможные неисправности в работе электрооборудования агрегата и способы их обнаружения представим в таблице 5.1

Таблица 5.1 Таблица неисправностей оборудования и способы их устранения.

№ Пункта	Событие	Неисправность	Способ обнаружения	Способ устранения
Преобразователь (основной режим)				
1	Автоматическая остановка агрегата	Превышение критической температуры	Сигнализация на дисплее преобразователя	Охлаждение, обеспечить дополнительное охлаждение помещения (дать остыть ПЧ, открыть окно или дверь), очистить охладитель преобразователя от пыли, сбросить аварию
2	Автоматическая остановка агрегата, или он не запускается	Напряжение сети ниже допустимых параметров	Сигнализация на дисплее преобразователя	Дождаться восстановления напряжения сети до допустимых параметров, сбросить аварию
3	Автоматическая остановка агрегата, или он не запускается	Напряжение сети выше допустимых параметров	Сигнализация на дисплее преобразователя	Дождаться восстановления напряжения сети до допустимых параметров, сбросить аварию
4	Автоматическая остановка агрегата	Авария силового ключа	Сигнализация на дисплее преобразователя	Обратиться в сервисную службу производителя
5	Автоматическая остановка агрегата, или он не запускается	Превышение тока на выходе преобразователя	Сигнализация на дисплее преобразователя	Проверить электронасосный агрегат на наличие отказа подшипниковых узлов, устранить неисправность сбросить аварию

Продолжение таблицы 5.1

Схема управления (резервный режим)				
6	Автоматическая остановка агрегата, или он не запускается	Отсутствие сети или выход ее параметров за заданные параметры	Отсутствие рабочей индикации прибора KV1H	Выяснить причину отсутствия сети, по возможности устранить неисправность, дождаться восстановления сети
7	Автоматическая остановка агрегата, или он не запускается	Обрыв фазы (или двух фаз)	Отсутствие рабочей индикации прибора KV1H	Выяснить причину отсутствия сети, по возможности устранить неисправность, дождаться восстановления сети
8	Агрегат не запускается	Неправильное чередование фаз	Отсутствие рабочей индикации прибора KV1H	На вводном автомате поменять две фазы вводного кабеля местами
9	Автоматическая остановка агрегата	Перегрузка электродвигателя	Выход «собачки» на тепловом разцепителе, KM3 или KM4	Проверить электронасосный агрегат на наличие отказа подшипниковых узлов, устранить неисправность, нажать «собачку» разцепителя
10	Автоматическая остановка агрегата	Короткое замыкание в линии от ЩУ к агрегату	Отключился автоматический выключатель QF1 (QF2, QF3)	Выяснить причину замыкания, устранить неисправность и включить автоматический выключатель
11		Закрыта подводящая арматура к агрегату, опорожнение емкости	Сигнализация на панели ЩУ	Нажать стоп (SB2) на кнопочном посту, открыть арматуру.
12	Автоматическая остановка агрегата	Закрыта отводящая арматура от агрегата	Сигнализация на панели ЩУ	Нажать стоп (SB2) на кнопочном посту, открыть арматуру.

6. ФИНАНСОВЫ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

6.1 Введение

Важнейшим фактором успешного функционирования любого промышленного предприятия, в рамках жесткой конкуренции с отечественными и иностранными производителями, является постоянное совершенствование технологии и продукции. Новые технологии и модернизация это необходимый фактор для успешного продвижения продукции. Современный рынок требует от отечественного производителя коренной реконструкции и модернизации устаревшего технологического оборудования. Совершенствование технологий производства с целью повышения качества продукции, экономии затраченных средств, внедрение новых идей и соответственно появление новых видов продукции с новыми качествами - все это в условиях свободной конкуренции на рынке требует от товаропроизводителя совершенствоваться и внедрять новое технологическое оборудование.

Данный раздел выпускной квалификационной работы посвящен выбору наиболее выгодного варианта электропривода для рассматриваемого объекта. В данном проекте рассматривается частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Преимуществами такого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока являются:

1. более низкая стоимость;
2. минимальные затраты на обслуживание;
3. обеспечение требуемой степени защиты.

Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Это важно для рассматриваемого применения, так как оно связано с концентрацией взрывоопасных паров в окружающей среде и требует специальную степень защиты электрических

машин от взрыва 1ExdIIВТ4.

6.2 Выбор и обоснование структурной (принципиальной) схемы электропривода.

Выбор структурной схемы сводится к сравнению нескольких возможных вариантов и выбору наиболее оптимальной.

I вариант: электропривод с двигателем постоянного тока;

II вариант: частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором

Таблица 6.1

	Варианты		Примечания: (преимущества, недостатки)
	I	II	
1. Общее количество составных частей	4	4	
2. Количество типов элементов	4	4	
3. Количество оригинальных элементов	2	2	
4. Стоимость покупных комплектующих		Стоимость в 2 раза меньше	Простота конструкции
5. Показатели надежности		Надежность, простота обслуживания	Отсутствие щеточного аппарата
6. Питание:			
а) вид	$U = 380 \text{ В}$	$U = 380 \text{ В}$	
б) мощность	$P = 37 \text{ кВт}$	$P = 37 \text{ кВт}$	
7. Габариты		Меньше в 2 раза	компактность
8. Масса		Легче в 2 раза	Экономия материала на изготовление

Для проведения оценки выбраны следующие показатели:

1. уровень капитальных вложений;
2. уровень надежности;
3. уровень обслуживания;
4. завышение мощности электропривода;
5. уровень затрат на эксплуатацию;
6. коэффициент мощности;
7. генерирование помех;

Таблица 6.2 - Коэффициент весомости критериев

Номер критерия	1	2	3	4	5	6	7
Коэффициент весомости	1.0	0.8	0.6	0.3	0.4	0.2	0.1

По каждому частотному критерию устанавливаем оценку степени обеспечения цели:

<i>Уровень цели</i>	<i>низкий</i>	<i>средний</i>	<i>высокий</i>
<i>Оценка обеспечения цели</i>	<i>1.0</i>	<i>0.5</i>	<i>0</i>

Оценка обеспечения различных вариантами электроприводов выбранных качественных характеристик представлена в таблице 6.3

Таблица 6.3

Номер варианта	Групповой критерий							Общая оценка качества
	1.0	0.8	0.6	0.3	0.4	0.2	0.1	
I	0,5	0	0,5	0	0.5	0,5	0.5	1,15
II	1,0	0,5	1,0	0	0.5	0	0.5	2,25

Из таблицы 6.3 видно, что выбранные качественные характеристики обеспечиваются в варианте II.

6.3 Анализ и оценка научно-технического уровня проекта (НТУ)

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности проекта необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$НТУ = \sum_{i=1}^n k_i \cdot П_i, \quad (6.1)$$

где

k_i – весовой коэффициент i – го признака;

$П_i$ – количественная оценка i – го признака.

Таблица 6.4 – Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.6
Теоретический уровень	0.4
Возможность реализации	0.2

Таблица 6.5 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 6.6 – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
Разработка способа (алгоритм, вещество, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 6.7 - Возможность реализации по времени и масштабам

<u>Время реализации</u>	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
<u>Масштабы реализации</u>	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0.6, P_1 = 6, k_2 = 0.4, P_2 = 7,$$

$$k_3 = 0.2, P_3 = 10, k_4 = 0.2, P_4 = 4.$$

$$НТУ = 0.6 \cdot 6 + 0.4 \cdot 7 + 0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 4 = 9.2$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет хорошие показатели новизны, значимость теоретического уровня, и при этом используется в широком спектре отраслей за сравнительно небольшое время реализации.

6.4 Планирование проектных работ

Планирование проекта – это составление календарных планов выполнения комплексов работ, определение денежных средств, необходимых для их реализации, а так же трудовых и материальных ресурсов.

Основные задачи:

1. Взаимная увязка работ проекта;
2. Согласование выполнения отдельных этапов работ во времени, определение их длительности и обеспечение их выполнения в установленные сроки;
3. Определение общего объема работ и потребных для его выполнения денежных, материальных и трудовых ресурсов;
4. Распределение общего объема работ между исполнителями.

Графический метод планирования.

При графическом методе планирования на основе расчета трудоемкости и календарной продолжительности выполнения всех включенных в план работ с учетом их взаимосвязи и последовательности выполнения во временном масштабе (соответствующим производственному календарю планируемого года) строится графическая модель комплекса работ в виде линейной диаграммы, в которой положение и длина каждой линии характеризует дату начала (окончания) и продолжительность выполнения каждой работы. На основе линейного графика определяется общая продолжительность всего комплекса работ.

Определение трудоемкости и продолжительности работ осуществляется на основе отраслевых нормативов, типовых норм на разработку конструкторской документации, а для работ, обладающих большой неопределенностью на основе вероятностных (экспертных) методов, широко используемых в СПУ.

Таблица 6.8 – Содержание проектной работы

Содержание работ	Продолжительность работ, ожид/день			Исполнители
	t_{\min}	t_{\max}	$t_{\text{ож}}$	
1. Разработка ТЗ на проектирование	3	5	3	РП, И.
2. Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	4	5	5	РП, И.
3. Описание объекта автоматизации (модернизации)	13	20	17	РП, И.
4. Кинематическая схема механизма	5	10	8	РП, И.
5. Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	12	15	14	РП, И.
6. Расчет мощности и выбор электродвигателя	3	5	5	РП, И.
7. Выбор способа регулирования скорости	7	10	9	РП, И.
8. Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	6	10	8	РП, И.
9. Разработка математической модели системы АУ ЭП	24	30	30	РП, И.

Продолжение таблицы 6.8

10. Оптимизация САР электропривода	20	25	23	РП, И.
11. Разработка программы имитационного моделирования	10	15	12	РП, И.
12. Вопросы безопасности и экологичности проекта	6	10	10	РП, И.
13. Техничко-экономические расчеты	8	13	10	РП, И.
14. Составление пояснительной записки	35	45	40	РП, И.
15. Разработка графического сопровождения проекта	20	25	25	РП, И.

РП – руководитель проекта;
И – инженер.

График выполнения работ по дням составлен на год с учетом всех выходных, предпраздничных и праздничных дней. Общее количество рабочих дней = 250, которые требуются на выполнение данного проектирования.

6.5 Расчет сметы затрат на проектирование.

Расчет сметы затрат на выполнение проекта, частью которого является ВКР, студента-дипломника, осуществляется методом сметных калькуляций по отдельным статьям расходов, всех видов необходимых ресурсов (таблица 6.9).

Таблица 6.9 - Смета затрат на проектирование

Статьи расхода	Сумма		Примечания
	руб	%	
1. Материалы, покупные п/ф и комплектующие изделия	41000		
2. Специальное оборудование	38000		Стенды, приборы, установки, программы

Продолжение таблицы 6.9

3.	Основная заработная плата научно-производственного персонала	160000		Трудоемкость нормо-д, Стоимость 1-го нормо-д.
4.	Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	16000	10	10÷15% от ст.3
5.	ЕСН	47529	27	27%(ст.3+ст.4)
6.	Расходы на научные и производственные командировки	14080	8	5÷10% от(ст.3+ст.4)
7.	Расходы и услуги сторонних организаций	32000		
8.	Накладные расходы	128000	80	60÷80% от ст.3
9.	Плановая прибыль	24607	7	6÷8% от (ст.3+4+5+8)
10.	Годовая сметная стоимость проекта	501216		

По результатам расчетов строим круговую гистограмму :

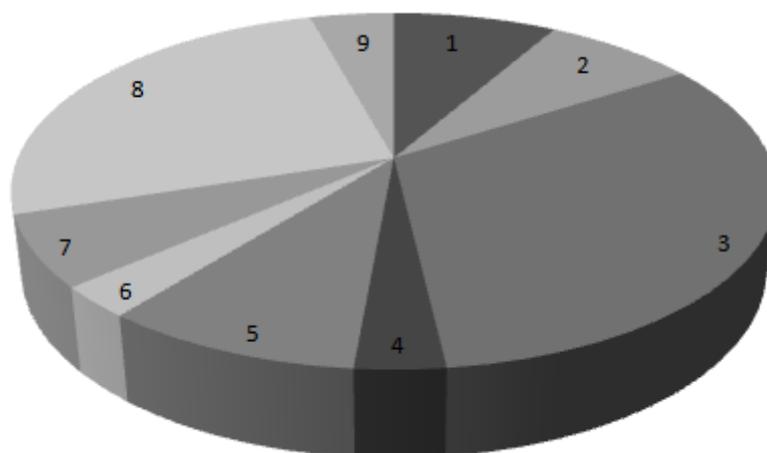


Рисунок 6.1 Круговая гистограмма затрат на проектирование

6.6 Расчет капитальных вложений на реализацию проекта.

Капитальные вложения (инвестиции в реальные активы предприятия)

включают:

- Затраты на предпроектные работы;

- Затраты на приобретение, доставку, установку и наладку оборудования;
- Сопряженные затраты
- Затраты на пополнение оборотных средств.

Расчет капитальных вложений оформлен в виде таблицы 6.10:

Таблица 6.10 – Бюджет инвестиций

	Кол-во	Цена, руб	Общая стоимость, руб
I. Оборудование: Электродвигатель ВА 200М2, 37 кВт [23]	1	61101	61101
Преобразователь Триол –АТ24 –С037 [24]	1	112000	112000
Пуско-регулирующая аппаратура (20% стоимости некомплектного оборудования)		34620	34620
II. Стоимость монтажных и пусконаладочных работ, в % от I. Комплектный привод (6%)		31158	31158
Некомплектный (15%)		4778	4778
III. Транспортно-заготовительные расходы 2%(I+II)			
IV. Плановые накопления монтажной организации (6-15%) от II		3739	3739
V. Сметная стоимость проектно конструкторских работ		501216	501216
Всего затрат			713992

В данном разделе рассчитаны капитальные вложения необходимые для реализации проекта с учетом цен май 2016 г.

6.7 Расчет расходов при эксплуатации электропривода

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

- Расходы на электроэнергию

- Заработная плата обслуживающего персонала
- Амортизационные отчисления
- Затраты на ремонт
- Расходы на материалы, связанные с эксплуатацией

Расчеты отдельных статей эксплуатационных расходов ведутся по формулам:

Расчет стоимости силовой электроэнергии.

Силовая электроэнергия используется для питания приводов рабочих механизмов и рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сил эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}}, \quad (6.2)$$

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{37 \cdot 500 \cdot 0,65 \cdot 0,7 \cdot 0,8}{0,94 \cdot 0,93} = 7703 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где

$P_{\text{уст}}$ – мощность установленного оборудования, кВт;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования, час;

$k_{\text{м}}$ – коэффициент одновременного использования электродвигателей (0.6–0.7);

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования оборудования по машинному времени (0.6–0.8);

$k_{\text{з}}$ – средний коэффициент загрузки оборудования (0.7–0.8);

$k_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий потери в сети (0.92–0.95);

$k_{\text{дв}}$ – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0.9–0.93).

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

$$C_{\text{эл}} = W_{\text{сил эн}} \cdot C_{\text{э}}, \quad (6.3)$$

где $C_{\text{э}}$ – стоимость одного кВт·часа электроэнергии для промышленных предприятий. $C_{\text{э}}$ – одноставочный тариф на потребляемую электроэнергию

для предприятия составляет 3,65руб/кВт·ч для Томского района на 1.03.2016 г.

$$C_{эи} = 7703 \cdot 3,65 = 28115 \text{ руб}$$

Расчет амортизационных отчислений.

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_A}{100}, \quad (6.4)$$

где

K – капитальные вложения в электрооборудование;

H_A – проценты отчислений на амортизацию.

– Электродвигатели – 9.6%

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 61101 \cdot 0.096 = 5866 \text{ руб}$$

– Преобразователи – 3.5%

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 112000 \cdot 0.035 = 3920 \text{ руб}$$

– Электропривод – 9.6%

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 713992 \cdot 0.096 = 68543 \text{ руб}$$

6.8 Издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов.

Оборудование электроприводов (электродвигатели, генераторы, трансформаторы и т.д.) является ремонтируемым. Оно подвергается планово-предупредительным ремонтам, периодичность и объем которых регламентируется системой ППР и сетей промышленной энергетики.

Затраты на ППР электропривода

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{м}} + C_{\text{опр}} + C_{\text{охр}}, \quad (6.5)$$

где

$C_{\text{зар}}=96$ руб·час – заработная плата ремонтных рабочих;

$C_{\text{м}}=84$ руб·час – стоимость материалов для ремонта (= основная

зарплата без доплат);

$C_{\text{опр}}=168 \text{ руб} \cdot \text{час}$ – общепроизводственные расходы (= 200% от основной зарплаты);

$C_{\text{охр}}=67,2 \text{ руб} \cdot \text{час}$ – общехозяйственные расходы (= 80% от основной зарплаты).

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{м}} + C_{\text{опр}} + C_{\text{охр}} = 96 + 84 + 168 + 67,2 = 415,2 \text{ руб} \cdot \text{час}$$

Для определения составляющих затрат на ППР необходимо установить периодичность ремонтного цикла, межремонтного периода, и трудоемкость работ по ППР. По трудоемкости работ определяется зарплата энерго-персонала.

Таблица 6.11 – Нормы трудоемкости ремонта электропривода

Мощность, кВт	Норма трудоемкости, чел-ч		
	Капитального ремонта без перемотки обмоток	Текущего ремонта	Технического обслуживания
37	42	15	9

Таблица 6.12 – Затраты на ППР электропривода

	Норма трудоемкости, чел-ч	Периодичность	Затраты на ППР электропривода в час	Затраты на ППР электропривода
Капитального ремонта без перемотки обмоток	42	Раз в 2 года	415.2	17438.4
Текущего ремонта	15	Раз в 6 месяцев	415.2	6228
Технического обслуживания	9	Раз в месяц	415.2	3736.8

В данной таблице рассчитаны затраты необходимые на планово-предупредительные работы, которые способствуют продлению эксплуатации данного электропривода.

Таблица 6.13 – Затраты на ППР электропривода в год

Вид ППР	Затраты на ППР электропривода в год
Капитального ремонта без перемотки обмоток	8719.2
Текущего ремонта	12456
Технического обслуживания	44841.6
Итого	66016.8

В данной таблице рассчитаны затраты на планово-предупредительные работы, которые были произведены, исходя из расчетов ППР электропривода в год.

В данной части ВКР был экономически обоснован выбор электропривода с асинхронным двигателем, был проведен расчет коэффициента научно - технического уровня, который оказался довольно высоким, что указывает на высокий потенциал данного проекта. Так же было выполнено планирование проектных работ, расчет сметы затрат на проектирование, расчет капитальных вложений на реализацию и расчет расходов при эксплуатации данного электропривода. Были рассчитаны издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов, т.е. затраты на планово-предупредительные работы.

7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

7.1 Введение

Безопасность жизнедеятельности представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально - экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

В этом разделе мы постараемся рассмотреть возможные факторы, возникающие при выполнении операций технологического процесса, влияние этих факторов на окружающую среду и воздействия их на организм человека. Разработаем мероприятия по снижению уровня негативного влияния этих факторов на обслуживающий персонал.

Здесь мы рассмотрим рабочее место электромонтера расходного склада ГСМ, произведем оценку условий его труда, оценку климатических условий, возможные опасные факторы которые могут привести к потере работоспособности, а также факторы, влияющие на качественные и количественные характеристики производительности труда.

Разработаем защитные меры от возможных негативных влияний на организм, рассмотрим технику безопасности на рабочем месте, пожарную безопасность, мероприятия по охране окружающей среды.

7.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов

В процессе работы человек вступает во взаимодействие с предметами труда, орудиями труда, другими людьми это в свою очередь оказывает на него воздействие как физическое так и психическое. На него также воздействуют параметры окружающей среды и рабочая обстановка. От условий труда зависит отношение человека к труду и, естественно,

результаты труда. При плохих условиях на рабочем месте резко снижается работоспособность, соответственно понижается производительность труда, повышается процент профессиональных заболеваний и травм. Под условиями труда подразумевается совокупность факторов производственной среды, оказывающих влияние на здоровье и производительность труда человека в процессе труда.

Произведем анализ рабочего места электромонтера по обслуживанию электрооборудования на производственной площадке. Работы включают в себя: работы по обслуживанию электродвигателей (протяжка контактов, профилактические замеры, отсоединение силового кабеля и др.), работы в клемных коробках, на кнопочных постах, работы с осветительными установками и тд.

На работника осуществляющего данные работы по обслуживанию электрооборудования оказывают воздействие опасные и вредные факторы:

К вредным факторам относится:

- загазованность воздуха;
- шум;
- недостаточное освещение;
- низкие и высокие температуры окружающего воздуха.

К опасным факторам относится:

- захват вращающимися частями производственного механизма;
- поражение электрическим током;
- опасность возникновения взрыва;

7.2.1 Загазованность воздуха

Воздух рабочей площадке содержит в себе пары продукта перекачки, которые являются вредным фактором по воздействию на организм человека.

Выполняя технологическую операцию, перекачиваемый продукт контактирует с окружающей средой, что приводит к его испаряемости в

атмосферу. Испарившийся продукт образует, вокруг производственной площадке концентрацию паров углеводорода, которые в дальнейшем вдыхаются производственным персоналом.

Пары керосина оказывают раздражающее действие на слизистые оболочки дыхательных путей, при попадании в легкие человека могут вызвать головную боль, головокружение, потерю аппетита, кашель, рвоту, бессонницу, боль в области сердца, нарушения ритма сердечных сокращений в виде экстрасистолии. При попадании на кожу, вызывая дерматиты и экземы.

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»

предельная концентрация (ПДК) паров керосина на рабочем месте не должна превышать 300 мг/м^3 класс опасности данных паров IV [17].

К мероприятиям по уменьшению вредного воздействия данного фактора является обеспечением средствами защиты, которые разделяются на коллективные и индивидуальные. К коллективным средствам защиты относятся:

- установка газоанализаторов на территории парка;
- оборудование и трубопроводы тщательно герметизируется;
- систематический контроль за уровнем загазованности непосредственно на рабочих местах, периодичность контроля устанавливается для класса опасности IV не реже 1 раза в квартал.

К индивидуальным средствам защиты относятся:

- спецодежда;
- обеспечение фильтрующим противогазом марки БКФ (для случая аварийной ситуации).

7.2.2 Шум

Основным источником шума на производственном объекте может являться электронасосный агрегат. Причиной шума может служить износ подшипников, неточна сборка деталей при ремонтах и т.п. Поэтому в процессе эксплуатации всех видов машин и механизмов следует точно выполнять все требования Правил технической эксплуатации.

Шум наносит большой ущерб, вредно действует на организм человека и снижает производительность труда. Утомление рабочих из-за сильного шума увеличивает число ошибок при работе, способствует возникновению травм.

Сильный шум вредно отражается на здоровье и работоспособности людей. Продолжительность действия сильного шума вызывает общее утомление, может привести к ухудшению слуха, а иногда и к глухоте. Таким образом шум вызывает нежелательную реакцию всего организма человека.

При нормирование шума используют два метода: нормирование по предельному спектру шума, нормирование уровня звука в дБ. Таким образом, шум на рабочих местах не должен превышать допустимых уровней, значений которые приведены в ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности». Поэтому для работы на данном объекте допустимый уровень звукового давления в активной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц есть 80 дБ, а допустимый уровень звука 85 дБ [18].

Строительные нормы и правила СНиП 23-03-2003 предусматривают защиту от шума строительно-акустическими методами, при этом для снижения уровня шума предусматриваются некоторые меры. К производственному механизму мы можем применить - укрытия в кожухи источников шума [19].

В качестве индивидуальных средств защиты от шума на данном объекте используют специальные наушники, вкладыши (беруши) в ушную

раковину, противошумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощении звука.

7.2.3 Освещение

Производственное рациональное освещение территории предприятия, производственных помещений и рабочих мест имеет весьма важное гигиеническое значение. Оно обеспечивает труд, делает движение рабочего уравновешенными, снижает опасность травматизма. Недостаточная или неправильная освещенность территории, рабочей установки, может привести к падению персонала и к несчастному случаю.

Освещение производственных объектов может быть естественным и искусственным. Естественное освещение бывает боковое (оно в стеклах), верхнее, комбинированное (световые фонари и окна).

В промышленности широко применяются лампы накаливания, так как только они выпускаются во взрывозащищённом исполнении светильников. Искусственное освещение производственных помещений может быть общим, местным и комбинированным. При системе местного освещения, (может быть постоянным и временным) светильники устанавливаются непосредственно на рабочих местах.

На объектах промышленности широко применяется прожекторное освещение.

Аварийное освещение на производственных объектах должно быть рассчитано на напряжение электрического тока 12 В.

Нормы общей минимальной освещенности в люкс (ЛК) производственных объектов: Нормирование освещенности производится в соответствии с СП52.13330.2011г. актуализированный СНиП 23-05-95«Естественное и искусственное освещение» [20].

В нашем случае насосный модуль имеет естественное и искусственное освещение. Искусственное освещение выполнено лампами накаливания во

взрывозащищенном исполнении светильников и предназначено для использования в ночное время суток. Согласно нормам [20] освещенность для работ с малой точностью с наименьшим объектом различения от 5 до 10 мм должна составлять $E_n = 30$ ЛК.

7.2.4 Низкие и высокие температуры окружающего воздуха

В зимний период времени на организм человека воздействуют низкие температуры, это воздействие происходит при контакте человека с окружающей средой. При дыхании происходит охлаждение дыхательных путей, что может привести к простудному заболеванию, при контакте с металлическими частями оборудования можно получить обморожение конечностей как верхних так и нижних.

Законодательством предусматривается обеспечение работодателем работника, спецодеждой и средствами индивидуальной защиты. Полный перечень предоставляемой бесплатной спецодежды представлен в нормативном документе: «Типовые нормы бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам сквозных профессий и должностей всех видов экономической деятельности, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемые в особых температурных условиях или связанных с загрязнением» утвержденный приказом № 997н от 9.12.2014 г [21].

Для уменьшения действия необходимо в холодный период организовывать перерывы во время работы, время перерыва должно быть достаточным для полного отогрева замерзших частей организма. Предусмотреть сушильные шкафы для сушки верхней одежды и обуви, чтобы одежда всегда была сухой. Для индивидуальной защиты персонал обеспечивается комплектом утепленной спецодеждой.

7.2.5 Захват вращающимися частями механизмов

Во время работы в опасной близости вращающихся частей электронасосного агрегата есть вероятность захвата механизма за одежду. Это может привести к серьезному урону здоровья человека. Травмы могут быть самыми различными от вывихов и переломов конечностей до разрыва внутренних тканей человека. Для обеспечения безопасности на рабочем месте предусматривается барьер препятствующий приближению на опасное расстояние, который окрашен в яркий цвет, характеризующий опасность. К индивидуальным средствам защиты относится спецодежда работника которая должна быть удобной правильно подобрана по размеру, без топорщащихся элементов (манжеты рукавов, карманы, гачи брюк и др.). Спецодежда выполняется из материалов не накапливающих статическое электричество. Обувь должна быть также удобная и правильно подобранная по размеру, Подошва у обуви рифлёная стойкая к нефтепродуктам уменьшающая риски подскользывания.

7.2.6 Поражение электрическим током

По классификации ПУЭ [16] рабочая площадка относится к особо опасным помещениям, т.к. размещение электроустановки наружное, и содержит в себе два характеризующего условия для помещений с повышенной опасности это токопроводящие полы, и возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей, технологического аппарата, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

Опасный фактор поражения электрическим током может возникнуть при выполнении работ в распределительных сборках, при работах на зажимах в коробке выводов электродвигателей, при работе с осветительными

установками, т.е. работы на частях оборудования которые в нормальном режиме находятся под напряжением или на которые в любой момент может быть подано напряжение.

Действие на организм:

Организм человека состоит из большого количества солей и жидкости, что является хорошим проводником электричества, поэтому действие электрического тока на организм человека может быть летальным.

Минимальная величина тока, которую способен почувствовать человеческий организм составляет 1 мА.

При повышении тока более 1 мА человек начинает чувствовать себя некомфортно, возникают болезненные сокращения мышц, при увеличении тока до 12-15 мА возникает судорожное сокращение мышц, контролировать свою мышечную систему человек уже не в состоянии и собственными силами не может разорвать контакт с источником тока. Этот ток называется неотпускаемым.

Действие электрического тока более 25 мА приводит к параличу мышц органов дыхания в результате чего человек может просто-напросто задохнуться. При дальнейшем увеличении тока возникает фибрилляция сердца. Величина переменного тока, представляющая опасность для организма человека составляет 100 мА, а величина переменного напряжения 50 В [16].

Электрический ток проходя через организм человека может оказывать на него три вида воздействий:

- термическое;
- электролитическое;
- биологическое.

Термическое действие тока подразумевает появление на теле ожогов разных форм, перегревание кровеносных сосудов и нарушение функциональности внутренних органов, которые находятся на пути протекания тока.

Электролитическое действие проявляется в расщепление крови и иной органической жидкости в тканях организма вызывая существенные изменения ее физико-химического состава.

Биологическое действие вызывает нарушение нормальной работы мышечной системы. Возникают непроизвольные судорожные сокращения мышц, опасно такое влияние на органы дыхания и кровообращения, таких как легкие и сердце, это может привести к нарушению их нормальной работы, в том числе и к абсолютному прекращению их функциональности.

Мероприятия по защите согласно [16] и [22]:

- Выполняется защита от косвенного прикосновения методом защитного заземления - соединения металлических корпусов электрооборудования с контуром заземления.

- Установка аппаратов защиты от короткого замыкания силовой цепи и цепей управления электропривода – установка автоматического выключателей.

- Организационные и технические мероприятия при работах в электроустановках;

- Обеспечениями основными защитными средствами до 1000 В. К данным защитным средствам относятся диэлектрические перчатки, диэлектрические боты, указатели напряжения, токоизмерительные клещи, изолирующие штанги, ручной изолирующий инструмент и переносное защитное заземление.

- Ежегодное подтверждение группы допуска к работе в электроустановках для электротехнического персонала.

Для защиты от прямых ударов молнии и вторичных ее проявлениях территория рабочей зоны оснащена молниезащитой, которая представляет собой пять молниеприемников соединены с контуром заземления. Для защиты от вторичных проявлениях молнии все металлические конструкции парка (резервуары, дыхательные клапана, насосные модули, надземные трубопроводы) также заземлены. Заземление металлических частей

выполняет функцию снятия статического электричества с конструкций и оборудования.

7.2.7 Взрывобезопасность

Пожар является самым опасным источником угрозы жизни и здоровью человека. Последствиями пожара могут быть очень серьезные это большие материальные ущербы, причинение вреда здоровью человека и даже человеческие жертвы.

Опасностью возникновения пожара может быть взрыв паровоздушной смеси, образующийся на рабочем месте работника. Паровоздушная смесь образуется в результате испарения продукта перекачки. Температура вспышки керосина = 28 °С.

Основные травмы при воздействии на человека высоких температур это ожоги.

Ожоги причиняются кратковременным действием пламени, горячими жидкостями, смолами, газами, парами, нагретыми предметами, расплавленным металлом, напалмом и др. Степень поражения тканей зависит от высоты температуры поражающего вещества и от продолжительности его действия.

Ожог первой степени характеризуется покраснением, припуханием, чувством жжения кожи. Последствия ожога ограничиваются шелушением поверхностного слоя кожи.

Ожог второй степени возникает при продолжительном воздействии высокой температуры с образованием пузырей на пораженном участке в результате острого воспаления кожи. Окружающая пузыри кожа — резко припухшая, красного цвета.

Ожог третьей степени диагностируют при длительном действии высокой температуры, он характеризуется влажным или сухим омертвением кожи. Кожа в месте влажного некроза (омертвения) желтоватого цвета,

отечная, покрыта пузырями. При сухом некрозе кожа сухая, плотная, бурого или черного цвета. Результатом заживления такого ожога является рубец.

Ожог четвертой степени наступает при действии пламени, он вызывает необратимые изменения кожи, подлежащих тканей, вплоть до костей (обугливание).

Смерть может быть вызвана любой степенью ожога, в зависимости от локализации и площади поражения покровов тела. Ожоги, охватывающие 40—50% поверхности тела, обычно несовместимы с жизнью. Поражение 1/3 площади тела вызывает крайне тяжелое состояние больного. Нередко, особенно у детей, смертельный исход наступает после ожогов небольших участков тела, что объясняется повышенной чувствительностью детей к подобным повреждениям. Особо опасны ожоги дыхательных путей, вызывающие дыхательную недостаточность.

Рабочая электромонтёра в области насосного модуля относится к зоне класса В-Іг по классификации ПУЭ. Это пространства у наружных установок - технологических установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ, надземных и подземных резервуаров с ЛВЖ или горючими газами (газгольдеры), эстакад для слива и налива ЛВЖ, открытых нефтеловушек, прудов-отстойников с плавающей нефтяной пленкой и т.п. [16].

Источником возникновения огня могут быть следствия короткого замыкания в электрооборудовании, нарушение сотрудниками противопожарного режима (проведение огневых работ, или сварочных работ, курение и др. в зоне В-Іг), разряд молнии, разряд статического электричества, пожар на прилегающих к парку территориях.

Для предупреждения опасного фактора нормативно технической документацией предусмотрены следующие мероприятия:

-Электрооборудование, расположенное в зоне опасности взрыва выполняется во взрывозащищенном исполнении, с соответствующей маркировкой на корпусе. В соответствии с ГОСТ Р 51330 маркировка взрывозащищенного электрооборудования должна содержать знак

"Ех"(оборудование размещенное на рабочем месте электромонтера имеет маркировку 1ЕхdIIВТ4).

-Систематические профилактические испытания сопротивлений изоляции, при условии $R_{из} > 0,5 \text{ МОм}$;

-Использование защитные аппараты для мгновенного отключения поврежденного участка электросети;

-Все сварочные работы производить на сварочном участке или сварочном посту, обязательное выделенное место для курения;

-Автотранспорт производственного процесса снабжен искрогасителям выхлопных газов.

Разряд статического электричества также может быть источником пожара, поэтому на производстве предусмотрены мероприятия по исключению статического электричества. Так как перекачиваемое топливо является диэлектриком, в напорной линии установлено специальное устройство нейтрализатор статического электричества. Все металлические части оборудования склада заземлены. Вся территория парка снабжена устройством молниезащиты, покрывающей всю зону В-Іг.

Спец одежда персонала выполнена таким способом что в ней не образуется статическое электричество. Металлический ручной инструмент покрыт материалом не образующем искры.

Рабочие места укомплектованы первичными средствами пожаротушения, которые представлены в таблице 7.1

Таблица 7.1 Пожарный инвентарь рабочих мест.

№ п/п	Наименование рабочего места	Количество и марка огнетушителя	Средства пожара тушения
1	АФТ-90-2/С	ОУ-3 3 шт.	Ящик с песком 1м^3 Асбестовое полотно $2\cdot 4\text{м}^2$
2	АФТ-90-2/С	ОУ-3 3 шт.	Асбестовое полотно $2\cdot 4\text{м}^2$
3	электрощитовая	ОУ-3 1шт.	Ящик с песком 1м^3

Также в центральной зоне парка склада расположен пожарный шкаф в котором размещены: топор, 2 ведра, 2 лопаты, багор, лом.

Для каждого предприятия на основе типовых правил пожарной безопасности для промышленных предприятий (утвержденных ГУПО МВД СССР 21августа 1976 года) разрабатываются общеобъектовые и цеховые противопожарные инструкции.

В этих инструкциях должны быть определены основные требования пожарной безопасности для данного участка производства.

Устанавливается также порядок вызова пожарной охраны на случай возникновения пожара. Для проведения профилактической работы необходимо осуществлять соответствующие мероприятия направленные на снижение пожарной опасности.

7.3 Расчёт защитного заземления

В установках 380/220В с заземленной нейтралью трансформаторов применяем систему заземления, при которой заземленные проводники соединяются с заземленной нейтралью. Наличие такого соединения превращает замыкание токоведущих частей на заземленные части установки в короткое замыкание, вследствие чего происходит отключение аварийного участка автоматом или предохранителем ГОСТ 12.1.030-81.

Из всего сказанного выше следует, что целью устройства защитных заземлений является:

а) в установках с изолированной нейтралью – обеспечение безопасной величины тока, протекающего через тело человека при замыканиях фазы сети на заземленные участки;

б) в установках с заземленной нейтралью – обеспечение возможности автоматического отключения дефектных участков сети при тех же замыканиях.

Согласно [16] в электроустановках без компенсации емкостных токов сопротивление заземляющего устройства при протекании расчетного тока замыкания на землю в любое время года должно быть при одновременном использовании для электроустановок напряжением до 1000В не более $R < 125 / J$ (Ом), где J – ток замыкания на землю, сопротивление должно быть не более 4 (Ом).

Длина кабельных линий со стороны 0.4 кВ : $L = 170$ м; грунт-суглинок; $P_{уд} = 100$ Ом·м.

Измерения проводились при средней влажности грунта $Y_2 = 1.5$.

В качестве вертикальных заземлителей принимаем стальные стержни диаметром 16 мм и длиной 2.5 м. В качестве соединительной полосы стальная шина сечением 40х4 мм.

1. Расчетный ток замыкания на землю со стороны 0,4 кВ (фазный):

$$I_3 = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot (35 \cdot L_K + L_B)}{350} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.4 \cdot 35 \cdot 0.17}{350} = 0.011 \quad (A) \quad (7.1)$$

Сопротивление заземляющего устройства принимаем $R_3 = 4$ Ом.

2. Рассчитываем удельное сопротивление грунта:

$$\rho_{расч.} = 100 \cdot 1.5 = 150 \quad (Ом \cdot м) \quad (7.2)$$

3. Сопротивление естественного заземления: $R_E = 6$ Ом, это сопротивление оболочки питающего кабеля.

4. Сопротивление искусственного заземлителя должно быть:

$$R_{И} = \frac{R_E \cdot R_3}{R_E - R_3} = \frac{6 \cdot 4}{6 - 4} = 12 \quad (Ом) \quad (7.3)$$

5. Сопротивление одиночного вертикального заземлителя:

$$R_{ст.од} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot L}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot H + L}{5 \cdot H - L} \right) =$$

$$= \frac{150}{2 \cdot 3.14 \cdot 2.5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2.5}{16 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2 + 2.5}{4 \cdot 2 - 2.5} \right) = 56 \quad (Ом) \quad (7.4)$$

6. Определяем предварительно количество электродов – n'

$$n' = \frac{R_{\text{э}}}{R_u} = \frac{56}{12} = 4,6 \quad (7.5)$$

7. Определяем окончательно потребное количество электродов - n ,

$$n' = \frac{R_{\text{э}}}{R_u \cdot \eta_{\text{э}}} = \frac{56}{12 \cdot 0,8} = 5,8 \quad (7.6)$$

8. Длина соединительной полосы если электроды расположены ряд
равна $l_n = a \cdot (n-1) = 4 \cdot (6-1) = 20\text{м}$ (7.7)

9. Определяем Сопротивление соединительной полосы:

$$R_{\text{п}} = \frac{\rho_{\text{п}}}{2 \cdot \Pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot H} = \frac{2 \cdot 100}{2 \cdot 3.14 \cdot 16} \cdot \ln \frac{2 \cdot 16^2}{0.04 \cdot 0.8} = 16.12 \quad (\text{Ом}) \quad (7.8)$$

10. Определяем общее сопротивление защитного заземления:

$$R_{\Sigma} = \frac{R_{\text{э}} \cdot R_{\text{п}}}{R_{\text{э}} \cdot \eta_n + R_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{э}} \cdot n} = \frac{56 \cdot 19,26}{56 \cdot 0,85 + 19,26 \cdot 0,8 \cdot 6} = 7,2 \quad \text{Ом} \quad (7.9)$$

где $\eta_n = 0,85$;

$\eta_{\text{э}} = 0,8$.

11. Производим проверку:

$$R_{\Sigma} \leq R_u \quad .$$

$$7,2 \text{ Ом} \leq 12 \text{ Ом},$$

Расчет произведен, верно

Вывод: в данном пункте был выполнен расчет защитного заземления, которое необходимо для защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении электротехнического или электротехнологического персонала, выполняющие работы, предписанные технологическим процессом и по обслуживанию электрооборудования. В результате расчеты было определено количество вертикальных электродов,

которое равно 6 штук, длина горизонтального электрода - 20 м. Также выполнен расчет общего сопротивления защитного заземления и его проверка, которое равно 7,2 Ом, и меньше допустимого минимального значения, это значение равно 12 Ом. Общий вид схемы защитного заземления представлен на рисунке 7.1

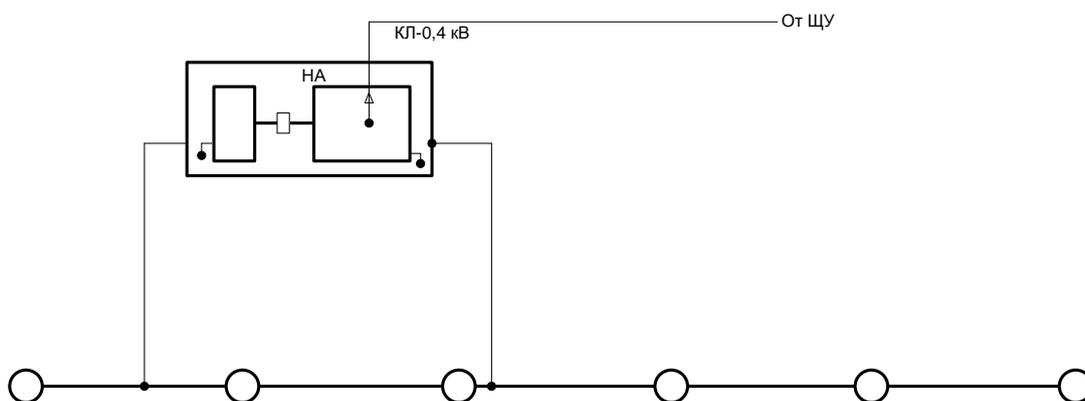


Рисунок 7.1 - Контур заземления

7.4 Охрана окружающей среды

Практически любое современное производство является источником загрязнения окружающей среды. А производство в нефтяной промышленности особенно загрязняющее. Основным технологическим процессом нефтебазы является прием, хранение, проведение лабораторного анализа и отпуск нефтепродукта. При осуществлении своей деятельности расходный склад ГСМ является источниками воздействия на окружающую среду.

Основное загрязнение атмосферного воздуха происходит при «дыхании» резервуаров. Это когда при нагревании стенок резервуара климатическим воздействием происходит выход паровоздушной смеси нефтепродукта через дыхательный клапан. Также выход загрязняющей смеси в атмосферу происходит при приеме топлива из автоцистерны в парк. Топливо по системе трубопровода поступает в емкость, при этом вытесняя

паровоздушную смесь, находящуюся в резервуаре, через дыхательный клапан в атмосферу. Выход загрязняющих паров происходит и при проведении работ по зачистки резервуаров. Когда крышка емкости открывается, после предварительного полного опорожнения резервуара, в него компрессором подается атмосферный воздух и происходит вытеснения паров топлива в атмосферу.

Загрязнение окружающей среды вызывает пролив нефтепродукта при проведении технологических операций. Топливо при попадание на грунт впитывается и образует в нем загрязнённые пятна. Далее загрязнения вымываются атмосферными осадками с территории склада, при этом попадают в естественный отток водных масс (ручьи). Опасность загрязнения (утечка нефтепродукта) может возникнуть при сливе топлива из отстоя, проводя визуальный анализ, забор топлива из емкости на полный лабораторный анализ. При расцеплении замка герметического наконечника на рукаве заправки топливозаправщика есть вероятность утечки остатков топлива оставшегося на стенках изделия.

Для уменьшения , а в некоторых случаях исключение влияния на окружающую среду применяются специальные мероприятия.

Все основное оборудование изготовлено таким способом, что пролитый нефтепродукт на территории площадке для слива и закачки топлива попадает в дренажную систему, по которой он подается в очистное сооружение, где нефтеловушками отделяется от воды и отводится в специальную емкость. Далее загрязнённая среда откачивается и отправляется на утилизацию. При проливе нефтепродукта вне зоны площадки, зона пролива засыпается песком, затем песчаная смесь собирается в специальную емкость и также отправляется на утилизацию в специализированное предприятие.

Принятое топливо склада храниться в резервуарном парке состоящего из 10 резервуаров, общим объемом 1000 м³. Для предотвращения возможных экологических катастроф, территория расположения емкостей защищена

бетонным обвалованием. Высота обвалования 0.7 м. Внутренняя вместимость территории обвалования позволяет вмещать весь объем хранящегося в парке топлива.

7.5 Чрезвычайные ситуации

Основные причины возникновения чрезвычайных ситуаций:

- результат стихийных бедствий;
- воздействие внешних природных факторов, приводящие к старению материалов;
- технико-производственные дефекты сооружений;
- нарушение правил эксплуатации сооружений и технологических процессов;
- нарушение правил техники безопасности при ведении работ и во время технологических процессов.

Под устойчивостью работы предприятия в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени понимается его способность производить в этих условиях запланированную продукцию в установленном объёме.

Надежная работа предприятия в условиях военного времени неразрывно связана с защитой рабочих, служащих и членов их семей от оружия массового поражения, для обеспечения которой в мирное время производятся следующие основные мероприятия: поддержание в постоянной готовности системы оповещения; обеспечение фонда убежищ на объекте для работающих, и противорадиационных укрытий в загородной зоне для отдыхающей смен и членов семей рабочих и служащих; планирование и выполнение подготовительных работ по строительству на объекте быстро возводимых убежищ и ПРУ в загородной зоне; поддержание в готовности защитных сооружений и организация обслуживания убежищ и укрытий; планирование и подготовка к рассредоточению и эвакуации в загородную зону производственного персонала и членов их семей; накопление, хранение

и поддержание готовности средств индивидуальной защиты; обучение рабочих и служащих способам защиты от ОМП и действиям по сигналам оповещения ГО.

От устойчивости зданий и сооружений к ударной волне зависит в основном устойчивость всего объекта. Целесообразным пределом повышения устойчивости зданий и сооружений к такому воздействию считается такой, при котором полученные предприятием разрушения дают возможность его оправданного восстановления. Вместе с тем, стремиться повышать устойчивость всех зданий и сооружений не следует, так как это связано с большими материальными затратами, которые не всегда оправдываются. Главным образом следует повышать прочность наиболее важных элементов производства, от которых зависит работа всего предприятия, но устойчивость которых ниже общего предела устойчивости.

Повышение устойчивости зданий и сооружений достигается устройством каркасов, рам, подносов, контрфорсов и опор для уменьшения пролета несущих конструкций, а также применением более плотных материалов.

Надежно защитить всё технологическое оборудования от воздействия ударной волны практически невозможно, так как доводить прочность зданий цехов до защитных свойств убежищ экономически нецелесообразно. Защита оборудования необходима, если: защищаемое оборудование способно при разрушении остальной части предприятия выпускать особо важную продукцию; защищаемое оборудование трудно восстанавливается, а при поражении данного объекта предусматривается использования этого оборудования на других предприятиях; защищаемое оборудование уникально, и его необходимо сохранить для дальнейшего использования.

Заключение

Результатом дипломной работы является выбор электрооборудования электронасосного агрегата, разработана схема управления электрооборудованием, разработана система автоматического регулирования производительности насосного оборудования, выполнен выбор аппаратов защиты и управления.

Для управления насосным оборудованием проанализирован и выбран наиболее подходящий, закон регулирования – скалярное управление U/f^2 . Данный вид управления позволяет получить искусственные механические с требуемыми характеристиками, ему свойственна техническая простота измерения и регулирования абсолютных значений переменных АД.

Результаты аналитических расчетов и имитационного моделирования подтверждают правильность выбора силовых элементов – электродвигателя и преобразователя – и реализации системы автоматического частотно-регулируемого электропривода насосной установки.

Система преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель обеспечивает требуемые характеристики насоса, а система автоматического регулирования со скалярным управлением обеспечивает поддержание технологических параметров в режимах пуска и воздействия возмущений с принятыми параметрами.

Предусмотренная схемой управления система защит обеспечит длительную нормальную эксплуатацию оборудования и его защиту от влияний аварийных режимов и ошибочных действий персонала.

В разделе производственной и экологической безопасности проведен анализ вредных факторов, рассмотрена техника безопасности, производственная санитария, пожарная безопасность технологического процесса.

В организационно-экономической части выполнено планирование проектных работ, расчет сметы затрат на проектирование, расчет

капитальных вложений на реализацию и расчет расходов при эксплуатации данного электропривода. Рассчитаны издержки на ремонтно – эксплуатационное обслуживание электроприводов, т.е. затраты на планово – предупредительные работы.

Список используемых источников

- 1 Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о центробежных насосах - Режим доступа: <http://www.rimos.ru/catalog/pump/11356>
- 2 Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о расчете мощности насоса - Режим доступа: http://www.gu-sta.ru/?doc=raschet_mowel
- 3 Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: Учеб.пособие для вузов.-2-е изд.,доп. – М.: Высш.шк..2000. – 255с.,ил.
- 4 Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о частотных преобразователях фирмы Triol - Режим доступа: <http://triolcorp.ru>
- 5 Электрический привод: учебно-методическое пособие / А.Ю. Чернышев, С.И. Качин, И.А. Чернышев; Томский политехнический университет, – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 156с.
- 6 Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 354 с.
- 7 А.Ю. Чернышев. Электропривод переменного тока: учебное пособие/ А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 218с.
- 8 Справочник по автоматизированному электроприводу/ Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского.- М.: Энергоатомиздат, 1983.-616 с. ил.
- 9 Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учебное пособие / О. П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин;

Томской политехнический университет. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. – 476 с.

10 Асинхронный частотно-регулируемый электропривод : учебное пособие / Н.В. Кояин, О.П. Мальцева, Л.С. Удут; Имитационные модели в среде моделирования MATLAB–Simulink, Методика настройки систем управления электропривода. Исследование электропривода посредством компьютерного моделирования, Томск, 2014г.- 149с.

11 Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть1.- Введение в технику регулирования линейных систем. Часть2. – Оптимизация контура регулирования.: Учеб. пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 144 с.

12 Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит общие сведения о топливных насосах АСВН, АСЦЛ, АСЦН и их технических характеристиках - Режим доступа http://www.specudm.ru/production/catalog_3/konsolnye/nasosi_tipa_asvn_ascl_ascn.html.

13 Агрегат для фильтрации топлива АФТ – 90 - 2 – С / 06. Эксплуатационная документация. - Научно производственная фирма «Агрегат», Книга 1, 2008.

14 Дементьев Ю. Н., Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Электрический привод: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 224 с.

15 Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит каталог электрических аппаратов и их технические характеристики - Режим доступа: <https://keaz.ru/catalogu>.

16 Правила устройства электроустановок [текст]: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2011. – 464 с., ил.

17 ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»

18 ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности».

19 СНиП 23-03-2003 «защита от шума строительными акустическими методами».

20 СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»

21 Типовые нормы бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам сквозных профессий и должностей всех видов экономической деятельности, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением» утвержденный приказом № 997н от 9.12.2014 г.

22 Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 24.07.2013 №328н.

23 Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит каталог электродвигателей и их стоимость - Режим доступа: <http://ekb.tiu.ru/Elektrodivigatel-37-3000-va200m2>.

24 Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит каталог преобразователей частоты, их технические характеристики и стоимость - Режим доступа: <http://www.chastotniki.ru/chastotniki.php>

