

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

---

Энергетический институт  
Направление подготовки – 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Кафедра электропривода и электрооборудования

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Модернизация электроснабжения газокompрессорной станции</b>
УДК 622.691.4.05:621.31.031-048.35

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗБ	Логвиненко Анатолий Анатольевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Паюк Л.А.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Потехина Н.В.			

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

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

Энергетический институт  
 Направление подготовки (специальность) 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Кафедра ЭПЭО

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой  
 \_\_\_\_\_ Дементьев Ю.Н.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗБ	Логвиненко Анатолию Анатольевичу

Тема работы:

<b>Модернизация электроснабжения газокompрессорной станции</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 873/с от 13.02.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2017
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><small>(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.).</small></p>	<p>Напряжение питающей сети <math>U_{пит}=10000</math> В;</p> <p>Производительность компрессора <math>Q=3,67</math> м<sup>3</sup>/с;</p> <p>Работа сжатия 1 м<sup>3</sup> воздуха до раб. дав. <math>A=7,7 \cdot 10^5</math> Дж/м<sup>3</sup>;</p> <p>КПД компрессора 0,85;</p> <p>КПД передачи 0,95;</p> <p>Коэффициент запаса 1,1;</p> <p>Давление 4,41 МПа.</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Анализ плана модернизации газокompрессорной станции;</p> <p>Расчет и выбор силового оборудования;</p> <p>Построение механических и электромеханических характеристик;</p> <p>Моделирование переходных процессов.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Панин В.Ф.</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Старший преподаватель кафедры менеджмента Потехина Н.В.</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>   	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	
--	--

**Задание выдал руководитель:**

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Ст. преподаватель</p>	<p>Паюк Л.А.</p>	<p>К.Т.Н.</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>5ГЗБ</p>	<p>Логвиненко Анатолий Анатольевич</p>		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗБ	Логвиненко Анатолию Анатольевичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <p>1.1. вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</p> <p>1.2. опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</p> <p>1.3. негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</p> <p>1.4. чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</p>	<p>Территория газокompрессорной станции с главным объектом рассмотрения исследования – электроснабжение газокompрессорной станции и газоперекачивающие агрегаты компрессорного цеха. Необходимо поддержание:</p> <p>1.1. Нормативных уровней вибрации и шума;</p> <p>1.2. Нормативных мер обеспечения электро-, пожаро- и взрывобезопасности.</p> <p>1.3. Использование ПЭВМ, освещение и отопление требуют сжигания топлива на ТЭЦ, дающего выбросы в атмосферу ЗВ.</p> <p>1.4. Наиболее вероятные ЧС: загорания (пожары) взрывы, электрический удар, например, при замыкании фазы питания на корпус асинхронной электрической машины при нарушенном его заземления.</p>
<p>2. Ознакомление и отбор законодательных и нормативных документов по теме и отбор их.</p>	<p>ГОСТ 12.0.003-74 «ОиВПФ»;</p> <p>ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;</p> <p>ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»;</p> <p>ГОСТ 12.1.01290 «Вибрационная безопасность»;</p> <p>ПУЭ, утвержденный министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.;</p> <p>№123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожаро- и взрывобезопасности» от 22.07.2008;</p> <p>ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения эл. током».</p> <p>Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных отходов на территории муниципального образования «Город Томск» ».</p>

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

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <p>1.1. физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</p> <p>1.2. действие фактора на организм человека;</p> <p>1.3. приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</p> <p>1.4. предлагаемые средства защиты</p>	<p>Вредные факторы:</p> <p>1. Шум</p> <p>2. Вибрации</p> <p>3. Недостаточная освещенность</p> <p>4. Возможные ненормативные метеоусловия</p>
---	--

(сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности 2.1.механические опасности (источники, средства защиты); 2.2.термические опасности (источники, средства защиты); 2.3.электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); 2.4.пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	Вся электрическая цепь помещения оснащена заземлительным контуром, выполненным в соответствии с ПУЭ от 08.07.2002, №204. Глава 1.7. – в соответствии с выполненным расчетом. Опасные факторы: 2.1.Опасность электропоражения; 2.2.Пожаровзрывоопасность.
3. Охрана окружающей среды: 3.1.анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 3.2.анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); 3.3.анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);	По п.3.1.: оценить масштабы уменьшения выбросов ЗВ от возможной экономии электроэнергии на рабочем месте. По п.3.3.: дать схему обращения твердых отходов от рабочего места согласно Постановлению Администрации г. Томска от 11.11.2010.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: 4.1.перечень возможных ЧС на объекте; 4.2.выбор наиболее типичных ЧС; 4.3.разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;	Разработать мероприятия по предупреждению загораний и электропоражений и мер по ликвидации их последствий.
<b>Перечень графического и инструктивного материалов:</b>	
Обязательные графические материалы к расчётам по заданию (обязательно для специалистов и магистров).	

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор кафедры ЭБЖ	Панин Владимир Филиппович	Д.Т.Н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗБ	Логвиненко Анатолий Анатольевич		

## «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа 5ГЗБ	ФИО Логвиненко Анатолию Анатольевичу
----------------	---

Институт Уровень образования	ЭНИН Бакалавр	Кафедра Направление/специальность	ЭПЭО Электроэнергетика и электротехника
---------------------------------	------------------	--------------------------------------	--

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклад руководителя - 26300 руб. Оклад инженера - 17000 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премиальный коэффициент 30%; Доплаты и надбавки 20%; Дополнительной заработной платы 15%; Районный коэффициент 30%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	-Анализ конкурентных технических решений;
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления во внебюджетные фонды.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Определение капитальных затрат на модернизации газокompрессорной станции

### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений*
2. *График Гантта*
3. *Бюджета затрат НИИ*
4. *Диаграмма бюджета затрат НИИ*
5. *Основные затраты на модернизацию КС*

### Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Потехина Н.В.			

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗБ	Логвиненко Анатолий Анатольевич		

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

Энергетический институт  
 Направление подготовки (специальность) 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Уровень образования Бакалавриат  
 Кафедра ЭПЭО  
 Период выполнения весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2017
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.03.2017	<i>Разработка нового генерального плана КС</i>	...
06.04.2017	<i>Модернизация электрического и газового оборудования в КЦ</i>	...
21.04.2017	<i>Модернизация осветительного и пожарного оборудования</i>	
25.04.2017	<i>Построение естественных и искусственных характеристик</i>	
07.05.2017	<i>Моделирование работы ГПА</i>	
10.05.2017	<i>Социальная ответственность</i>	
20.05.2017	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	
27.05.2017	<i>Оформление результатов работы и выводов по работе. Формирование файла дипломной работы</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Паюк Л.А.	К.Т.Н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, К.Т.Н.		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП  
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Универсальные компетенции</b>	
P1	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники.
P2	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях электроэнергетики и электротехники.
P3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетики и электротехники.
P4	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P5	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетики и электротехники с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности
P6	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники.
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P7	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем.
P8	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
P9	Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.
P10	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.
P11	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники.
P12	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 126 с., 43 рис., 27 табл., в процессе выполнения использовалась информация из 44 источников, 1 прил.

Ключевые слова: модернизация, электроснабжение, энергопотребление, полная мощность, активная мощность, перепланировка, электропривод, синхронный двигатель, асинхронный двигатель, естественные характеристики, искусственные характеристики, преобразователь частоты.

Объектом исследования является газокompрессорная станция «Александровская».

Цель работы – анализ энергопотребления газокompрессорной станции (ГКС) «Александровская» после модернизации на примере компрессорного цеха и полной модернизации оборудования в нем. Теоретическое исследование регулируемого электропривода газоперекачивающих агрегатов (ГПА), выбор преобразовательного устройства, а также имитационное моделирование переходных процессов пуска.

В процессе исследования проводились: анализ энергопотребления газокompрессорной станции, выбор двигателя по каталогу, выбор преобразовательного устройства, расчет инвертора и выпрямителя, аппаратуры управления и защиты, а также выбор сечения токоведущих шин сети высокого напряжения, построение естественных и искусственных механических и электромеханических характеристик двигателя, собрана имитационная модель, а также сняты переходные процессы пуска. Рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности и выполнен экономический анализ.

В результате исследования выявлено, что при окупаемости проекта в 15 лет получили: полную автоматизацию подачи и перекачки газа, новую двух уровневую систему вентиляции компрессорного цеха, полную замену люминесцентных ламп на светодиодные, что позволило уменьшить потребление электроэнергии отдельных объектов на 30%.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: полная перепланировка газокompрессорной станции, модернизация газоперекачивающих агрегатов, автоматизация процесса перекачивания газа по газопроводу, установка двухуровневой системы вентиляции в компрессорном цехе, модернизация осветительного оборудования по станции в целом.

Степень внедрения: полная.

Область применения: газовая промышленность.

Экономическая эффективность/значимость работы: после модернизации ГКС удалось уменьшить среднемесячное потребление электроэнергии отдельных объектов на ней на 25%; замена старого осветительного оборудования на всей территории ГКС на новые светодиодные привела с экономии по данному параметру на 30%; стал полностью автоматизированным процесс перекачки газа в компрессорном цехе благодаря замене старых синхронных двигателей типа СТД-4000-2 на АД с КЗ типа 1TA2832-4AU01-Z производства фирмы Siemens, т.к. с новыми агрегатами в первую очередь процесс «дожима» газа стал более безопасным, во-вторых менее энергозатратным, в-третьих автоматизированным и эффективным (ресурс службы оборудования повышается минимум в 1,5 раза).

В будущем планируется: модернизация питающей подстанции 10 кВ, которая нуждается в полной реорганизации.

#### Обозначения и сокращения

ГРС – газораспределительная станция;

РЭБ – ремонтно-эксплуатационный блок;

СЭБ – служебно-эксплуатационный блок;

КНС – канализационная насосная станция;

СОЖ – система обеспечения жизнедеятельности;

КТП – комплектная трансформаторная подстанция;

ДЭС – дизельная электростанция;

АЗС – автозаправочная станция;

РП 10 кВ – распределительный пункт 10 кВ;  
ЭГПА – агрегат электроприводной газоперекачивающий;  
ЦБН – центробежный нагнетатель;  
ЗРУ – защитно-распределительное устройство;  
СГУ – система сухих газовых уплотнений;  
МПН – магнитный подвес нагнетателя;  
МПД – магнитный подвес двигателя;  
МП – магнитный подшипник;  
ПЧ – преобразователь частоты;  
АД – асинхронный электродвигатель;  
ШУМП – шкаф управления магнитного подвеса;  
ШУ – шкаф управления;  
ПКУ – пульт контроля и управления;  
БЭО – блок экстренного останова;  
МПКИИ – местный пульт контроля и индикации;  
ШИМ – широтно-импульсная модуляция;  
КЦ – компрессорный цех;  
ГСМ – горюче-смазочные материалы.

## Оглавление

РЕФЕРАТ .....	9
Обозначения и сокращения.....	10
Введение.....	15
1 Модернизация газокompрессорной станции «Александровская» .....	17
1.1 Газокompрессорная станция «Александровское» и её особенности .....	17
1.2 Мероприятия по модернизации ГРС .....	20
1.2.1 Перепланировка ГРС .....	20
1.2.2 Замена СД.....	26
1.2.3 Модернизация системы вентиляции КС .....	33
1.2.4 Замена осветительного оборудования компрессорной станции .....	35
Вывод.....	36
2 Расчёт и выбор силового оборудования системы регулируемого электропривода .....	37
2.1 Расчёт мощности двигателя, выбор двигателя и компрессорного агрегата .....	37
2.2 Выбор преобразовательного устройства для системы регулируемого электропривода .....	39
2.3 Расчёт и выбор основных силовых элементов системы регулируемого электропривода .....	44
2.3.1 Расчет инвертора .....	44
2.3.2 Расчет выпрямителя .....	47
2.3.3 Расчет параметров охладителя.....	48
2.4 Выбор аппаратуры управления и защиты.....	49
2.4.1 Выбор и обоснование датчика давления .....	49
2.4.2 Выбор контакторов и автоматов защиты.....	51
2.4.3 Выбор источников питания для контроллера .....	52
2.5 Выбор типа и сечения шины сети высокого напряжения и вспомогательного оборудования.....	53
2.6 Определение расхода электроэнергии за цикл работы, среднецикловых значений КПД и коэффициента мощности электропривода.....	54
2.7 Оценка надёжности электропривода .....	57
Вывод.....	60
3 Расчёт статических и динамических характеристик для разомкнутой системы регулируемого электропривода.....	61
3.1 Расчёт естественных характеристик $\omega=f(I)$ , $\omega=f(M)$ системы регулируемого электропривода.....	61

3.2	Определение интервала частот инвертора.....	66
3.3	Расчет искусственных статических характеристик системы преобразователь-двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2=\text{const}$ .....	67
	Вывод.....	70
4.1	Структура силового канала .....	71
4.1.1	Математическое описание силового канала.....	73
4.1.2	Математическое описание асинхронной машины.....	73
4.2	Имитационная модель силового канала электропривода .....	75
4.3	Исследование переходных процессов в асинхронном электроприводе с законом регулирования скорости $U_1/f_1^2=\text{const}$ .....	78
4.4	Исследование переходных процессов давления газа при пуске газоперекачивающих агрегатов.....	79
	Вывод.....	83
5	Анализ суточного энергопотребления газокompрессорной станции (ГКС) «Александровская» после полной модернизации .....	85
	Вывод.....	87
6	Социальная ответственность.....	88
6.1	Анализ вредных факторов .....	88
6.1.1	Микроклимат .....	90
6.1.2	Шум и вибрация .....	91
6.2	Анализ опасных факторов .....	93
6.2.1	Загорание (пожар), взрыв .....	94
6.2.2	Электропоражение .....	96
6.3	Защита окружающей среды.....	97
6.4	Предотвращение ЧС и устранение их последствий.....	98
6.4.1	Пожар (загорание) – как источник ЧС .....	98
6.4.2	Электропоражение как источник ЧС .....	99
	Вывод.....	101
7	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	102
7.1	Анализ конкурентных технических решений .....	102
7.2	Планирование научно-исследовательских работ.....	104
7.2.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	104
7.2.2	Разработка графика проведения научного исследования .....	105
7.3	Бюджет научно-технического исследования.....	109
7.3.1	Расчет материальных затрат .....	109

7.3.2	Затраты на амортизацию .....	110
7.3.3	Основная заработная плата .....	110
7.3.4	Дополнительная заработная плата исполнительной системы.....	112
7.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	113
7.3.6	Накладные расходы.....	113
7.3.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	114
7.4	Определение капитальных затрат на модернизацию компрессорной станции.....	115
	Вывод.....	117
	Заключение.....	119
	Список использованных источников.....	121
	Приложение А.....	126

## Введение

На сегодняшний день важнейшими задачами развития промышленности являются повышение эффективности производства, а также сбережение энергоресурсов. Решением данных первостепенных задач является модернизация электроснабжения промышленных предприятий.

Модернизация электроснабжения подразумевает собой развитие и улучшение структуры систем электроснабжения, возрастание требований к экономичности и надёжности их работы в сочетании с широким и повсеместным внедрением устройств управления распределением и потреблением электроэнергии на базе современной вычислительной и автоматизированной техники. Важнейшей составляющей модернизации является полномасштабная замена технически устаревшего оборудования на современное, с возможной полной перепланировкой зданий и технических сооружений. Проблема устаревшего электрооборудования состоит не только в полном отсутствии его энергоэффективности, энергоэкономичности, но и в его многолетнем износе, что представляет повышенную опасность для обслуживающего персонала, потребителя продукции данного производства (электроэнергии, горячей и холодной воды, природного газа) и окружающей среды. Поэтому будет целесообразным рассмотреть модернизацию электроснабжения, электрического высоковольтного, низковольтного оборудования, а также полномасштабную установку электроники на предприятии и формирование частично безлюдного производства на примере газоперекачивающих стационарных компрессорных станций.

Целью данного дипломного проекта является проектирование системы электроснабжения, с заменой оборудования газоконденсаторной станции «Александровская» Общества с ограниченной ответственностью Александровского линейного производственного управления «Газпром трансгаз Томск», применяя при проектировании реальные данные предприятия (генплан,

план цеха, сведения об электрических нагрузках), сделать соответствующие выводы.

Предметом исследования является модернизация электроснабжения газокompрессорной станции «Александровская».

Объектом исследования является полная модернизация компрессорного цеха. А именно замена устаревших синхронных электродвигателей на асинхронные.

Задачи, которые необходимо было решить:

- 1) Разработать план модернизации ГКС;
- 2) Анализ энергопотребителей ГКС;
- 3) Модернизация компрессорного цеха:
  - a) Замена синхронных ЭД на АД;
  - b) Установка двухуровневой системы вентиляции;
  - c) Модернизация системы освещения;
  - d) Модернизация системы пожаротушения.



## 1 Модернизация газокompрессорной станции «Александровская»

### 1.1 Газокompрессорная станция «Александровское» и её особенности

Бесперебойную подачу газа в Западно-Сибирский регион осуществляет ООО «Газпром трансгаз Томск» при помощи сети ГРС.

Компрессорная станция «Александровская» первая станция после завода, которая поддерживает давления при транспортировке газа по магистральному газопроводу Нижневартовск-Парабель-Кузбасс.

Станции введены в эксплуатацию 1981 г. и находятся на расстоянии друг от друга 200 км. Ежегодно проводится реконструкция объектов и оборудования.

Реконструкция имеет исключительное значение для обеспечения надёжности газоснабжения потребителей Томской, Кемеровской, Новосибирской, Омской областей, Алтайского края и республики Алтай. Использование современных технологий и конструкторских решений позволяет также повысить производительность работы станций, существенно экономить электроэнергию, отказаться от системы маслохозяйства, а также повысить КПД газоперекачивающих агрегатов.

На стационарных КС подобного типа используются центробежные нагнетатели, валы которых приводятся в движение при помощи электрического привода. Суммарная мощность электроприводов шести газоперекачивающих агрегатов составляла 24 МВт, по 4 МВт каждый. На других КС на данном газопроводе было установлено большее или меньшее количество ГПА, в зависимости от необходимого давления и нужд потребителя. КС «Александровская» – головная станция, т.к. является первой после газоперерабатывающего завода в г. Нижневартовске. Но в тоже время данная КС имеет статус – резервной, потому что давление в газопроводе достаточное и введения КС в постоянное рабочее состояние не требуется. Резервное оборудование – это такое оборудование, которое находится в необходимом технологическом резерве по условиям производства. В резерве может

находиться исключительно исправное и полностью подготовленное к работе оборудование. В момент, когда перекачивающие агрегаты в Излучинске находятся в ремонте, в работу вступает дожимная головная компрессорная станция «Александровская».

Вопросами энергосбережения, модернизации энергоресурсов магистральных газопроводов, газоперекачивающего оборудования на компрессорных станциях занимаются, как отечественные [1,2,3], так и иностранные ученые. Рассматриваются и решаются различные задачи от эффективной экологически безопасной транспортировки газа, до новых методов повышения эффективности работы компрессорных станций [4,5,6].

Самым простым путем модернизации является уменьшение энергопотребления компрессорных центробежных машин, которые потребляют до 40% мощностей всей станции. Поэтому увеличение их коэффициента полезного действия (КПД) позволит уменьшить затраты на сжатие и перекачку газа. И здесь есть несколько путей решения данного вопроса: модернизация механических узлов и внедрение современных средств автоматизации с заменой или установкой дополнительного оборудования. В первом случае устраняются потери энергии компрессора в рабочих деталях [7], а во втором – реализация: группового управления, глубокого дросселирования, обеспечение расширения рабочей точки [6, 7].

В первую очередь, большой объем информации о газоконпрессорной станции необходимо систематизировать, приведем классификацию ГКС на основе обзора литературы (рисунок 1) [8].

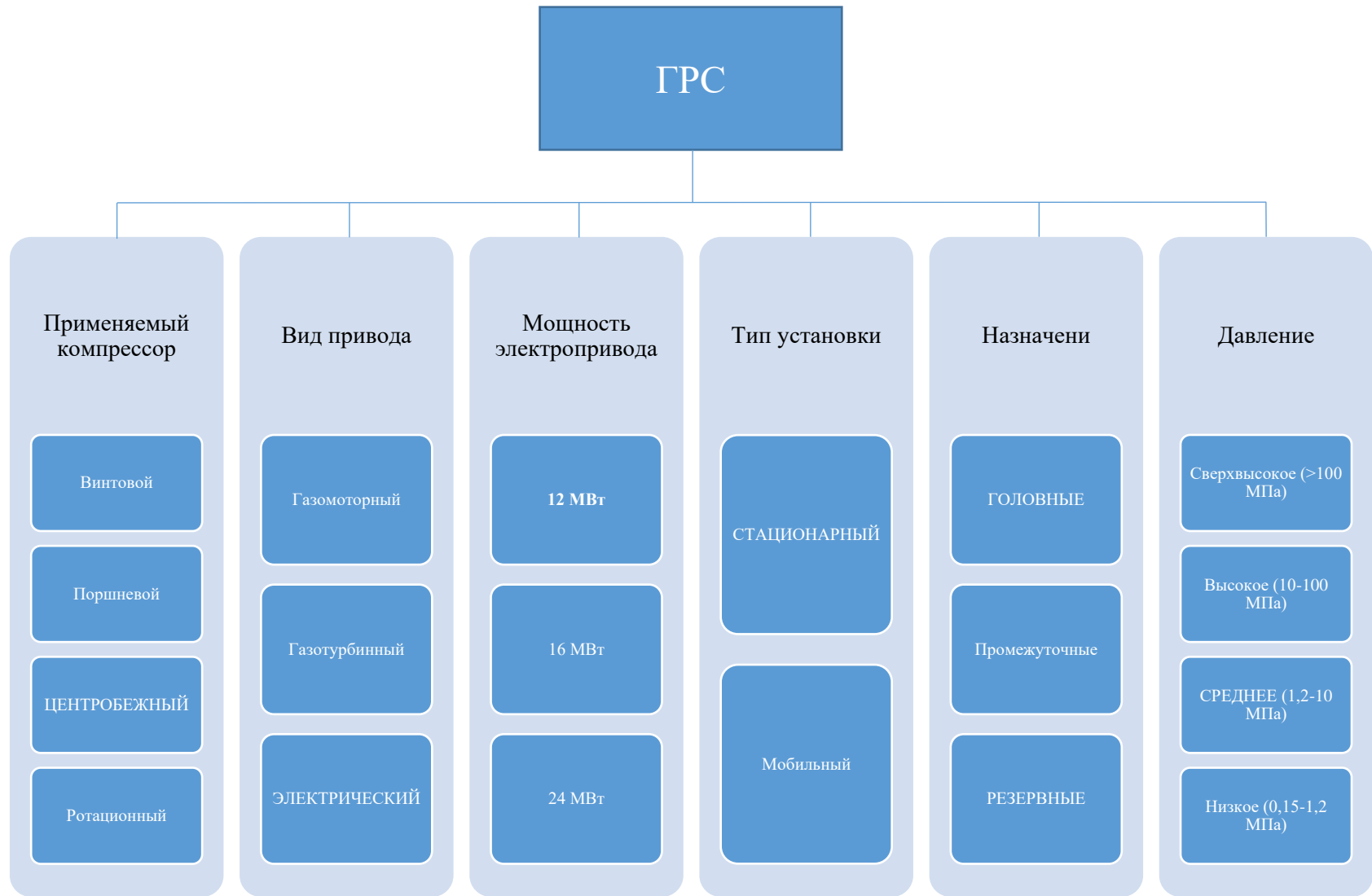


Рисунок 1 – Классификация газораспределительных станций

## 1.2 Мероприятия по модернизации ГРС

Модернизация ГРС – это обновление объекта, приведение его в соответствие с новыми требованиями и нормами, техническими условиями, а также показателями качества. Основными условиями модернизации явились: устаревшее оборудование, повышение электро- и пожаробезопасности, эффективность работы станции. [6]

В связи с этим был предложен план модернизации:

1. Перепланировки ГРС;
2. Компрессорного цеха;
3. Закрытого распределительного устройства (ЗРУ 10 кВ);
4. Обновления КТП2х400 кВа и установки КТП2х630 кВа;
5. Замены осветительных опор;
6. Установки нового осветительного оборудования во всех объектах КС;
7. Модернизации котельных, а также дизельного оборудования;
8. Установки системы связи;
9. И т.д.

### 1.2.1 Перепланировка ГРС

По плану реконструкции всех станций, КС «Александровская» была модернизирована в самую последнюю очередь (рисунок 2). Описание генерального плана: 1 – Компрессорный цех; 2 – Ремонтно-эксплуатационный блок; 3 – Служебно-эксплуатационный блок; 4 – Гараж; 5 – Канализационная насосная станция; 6 – Система обеспечения жизнедеятельности; 7 – Арт. скважина №1; 8 – Арт. скважина №2; 9 – Котельная №1; 10 – Котельная №2; 11 – Комплектная трансформаторная подстанция 2х400кВа; 12 – Осветительная мачта №1; 13 – Осветительная мачта №2; 14 – Осветительная мачта №3; 15 – Осветительная мачта №4; 16 – Осветительная мачта №5; 17 – Дизельная электростанция 250 кВт; 18 – Блок-бокс регенерации горюче-смазочных

материалов компрессорной станции; 19 – Автозаправочная станция;  
20 – Распределительный пункт 10 кВ.

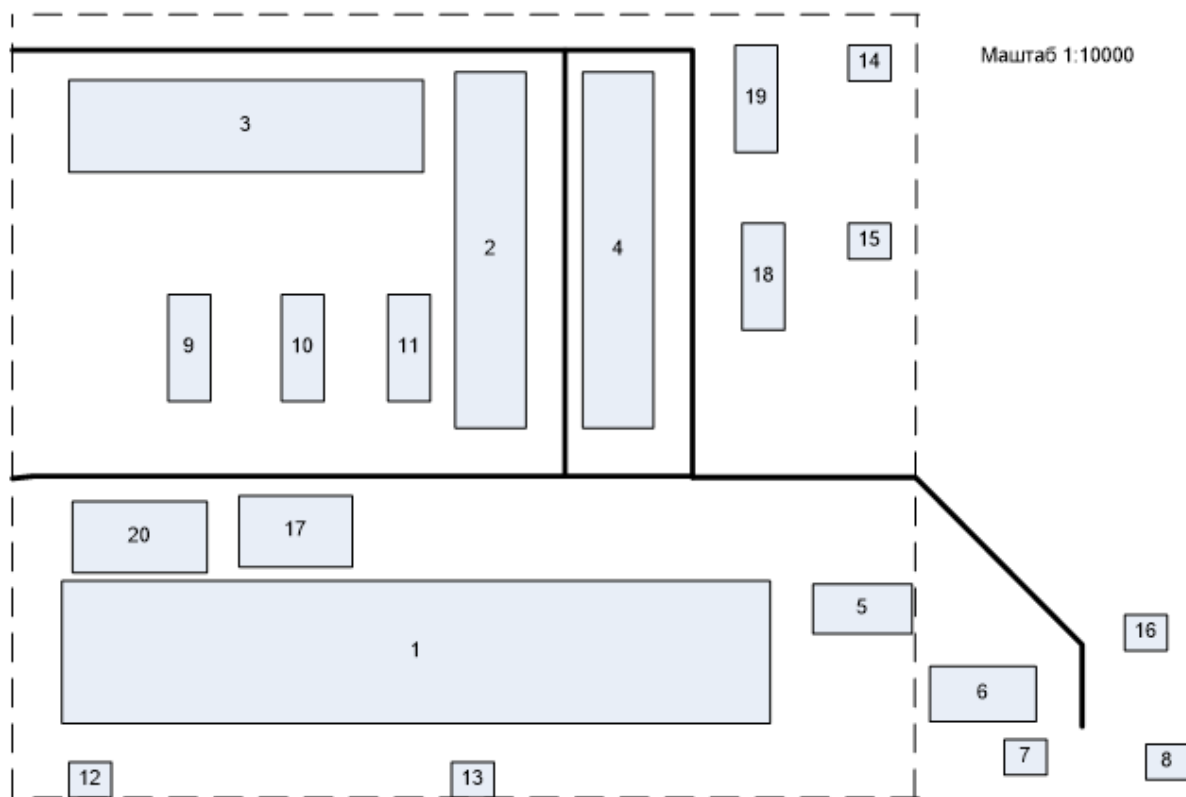


Рисунок 2 – Генеральный план КС «Александровская»  
ООО «Газпром трансгаз Томск» до модернизации

В таблице 1 приведен перечень оборудования и объектов ГРС «Александровская» до реконструкции. [9]

Таблица 1 – Оборудование и объекты ГРС до реконструкции

№ п/п	Название цеха		Число смен	Категория ЭП	среда	Установленная мощность, кВт
1	КЦ «Александровская»		2	I	нормальная	----
	0,38	кВ				862,03
	10	кВ СТД 6x4000кВт				24000
2	РЭБ			III	нормальная	88,11
3	СЭБ			III	нормальная	44

Продолжение таблицы 1

4	Гараж		III	пыльное	37,5
5	КНС		III	нормальная	16
6	СОЖ		III	нормальная	82
7	Арт. скважина №1		III	нормальная	2,8
8	Арт. скважина №2		III	нормальная	2,8
9	Котельная №1		II	взрывоопасно е	18
10	Котельная №2		II	взрывоопасно е	18
11	КТП2х400кВа			нормальная	295
12	Осветительная мачта №1		III		6
13	Осветительная мачта №2		III		6
14	Осветительная мачта №3		III		6
15	Осветительная мачта №4		III		6
16	Осветительная мачта №5		III		6
17	ДЭС250			нормальная	2,2
18	Б/бокс регенерации ГСМ КС		III	пожароопасно е	13,92
19	АЗС		III	пожароопасно е	7
20	РП 10кВ			нормальная	25

В результате на ГРС произошли следующие изменения: сделали полную перепланировку компрессорной станции, добавили КТП 2х630 кВа и согласующие трансформаторы для ГПА, в количестве трех штук, уменьшили мощность осветительного оборудования как на осветительных опорах, так и во всех цехах, помещениях (рисунок 3).

Описание генерального плана: 1 – Компрессорный цех; 2 – Б/бокс согласующего трансформатора №1; 3 – Б/бокс согласующего трансформатора №2; 4 – Разделительный трансформатор; 5 – Закрытое распределительное устройство 10 кВ; 6 – Комплектная трансформаторная подстанция 2х400 кВа; 7 – Комплектная трансформаторная подстанция 2х630 кВа; 8 – Ремонтно-эксплуатационный блок; 9 – Служебно-эксплуатационный блок; 10 – Гараж; 11 – Канализационная насосная станция; 12 – Система обеспечения жизнедеятельности; 13 – Арт. скважина №1; 14 – Арт. скважина №2;

15 – Котельная №1; 16 – Котельная №2; 17 – Осветительная мачта №1; 18 – Осветительная мачта №2; 19 – Осветительная мачта №3; 20 – Осветительная мачта №4; 21 – Осветительная мачта №5; 22 – Дизельная электростанция 250 кВт; 23 – Блок-бокс регенерации горюче-смазочных материалов компрессорной станции; 24 – Автозаправочная станция.

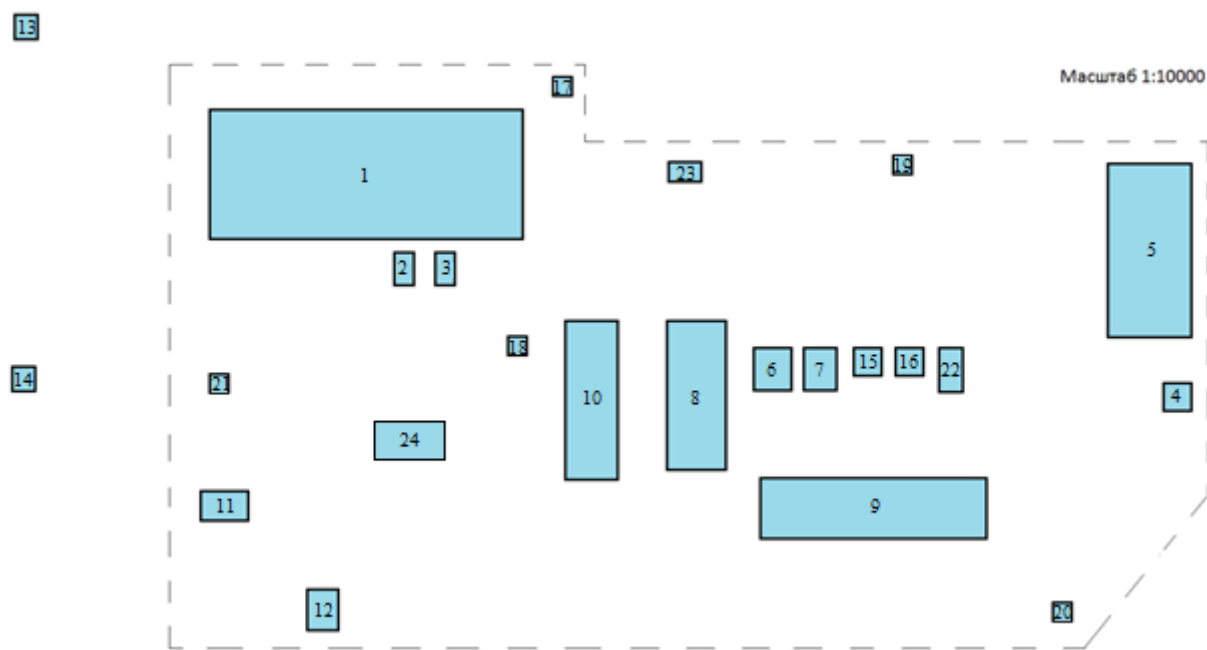


Рисунок 3 – Генеральный план КС «Александровская» ООО «Газпром трансгаз Томск» после модернизации 2014 г.

В таблице 2 приведен перечень оборудования и объектов ГРС «Александровская» после реконструкции. [9]

Таблица 2 – Оборудование и объекты ГРС «Александровское» после реконструкции

№ п/п	Название цеха		Число смен	Категория ЭП	среда	Установленная мощность, кВт
1	КЦ «Александровская»		2	I	нормальная	----
	0,38	кВ				303
	10	кВ АД 2х4000кВт				8000
	10	кВ АД 1х4000кВт резерв				4000
2	Б/бокс согласующего трансформатора №1				нормальная	4000

Продолжение таблицы 2

3	Б/бокс согласующего трансформатора №2			нормальная	4000
4	Разделительный трансформатор			нормальная	800
5	ЗРУ			нормальная	20
6	КТП2х400кВа			нормальная	280
7	КТП2х630кВа			нормальная	440
8	РЭБ		III	нормальная	70,5
9	СЭБ		III	нормальная	35,2
10	Гараж		III	пыльное	30
11	КНС		III	нормальная	13
12	СОЖ		III	нормальная	68
13	Арт. скважина №1		III	нормальная	2,4
14	Арт. скважина №2		III	нормальная	2,4
15	Котельная №1		II	взрывоопасное	15
16	Котельная №2		II	взрывоопасное	15
17	Осветительная мачта №1		III		1,6
18	Осветительная мачта №2		III		1,6
19	Осветительная мачта №3		III		1,6
20	Осветительная мачта №4		III		1,6
21	Осветительная мачта №5		III		1,6
22	ДЭС250			нормальная	2
23	Б/бокс регенерации ГСМ КС		III	пожароопасное	13
24	АЗС		III	пожароопасное	6

КС «Александровская» была полностью модернизирована и для того чтобы более подробно и наглядно оценить: масштабы, качество, выгоду, целесообразность модернизации специализированного промышленного оборудования – остановимся на модернизации компрессорного цеха (рисунок 4).





Так как газоперекачивающие агрегаты на газокompрессорной станции являются основным оборудованием и представляют наибольший интерес.

В компрессорном цехе (1, рисунок 2) заменили 6 старых агрегатов СТД 4000 кВт, заменили на 3 агрегата АД с ПЧ 4000 кВт, один из которых находится в резерве. Как видно, мощность агрегатов осталась прежней, но их количество сократилось в два раза и это связано с тем, что давления газа в газопроводе достаточно и не ниже нормы, а значит, не требуется большого количества газоперекачивающих агрегатов. В следствие это, сама КС «Александровская» находится в постоянном резерве и в любой момент времени готова к эксплуатации. В резерве данная компрессорная станция находилась и до момента ее модернизации. Схема расположения оборудования в компрессорном цехе представлена на рисунке 4.

### 1.2.2 Замена СД

В основной состав старого оборудования входили шесть агрегатов по 4 МВт каждый с синхронным приводом СТД-4000-2 (рисунок 5). Его паспортные данные приведены ниже:

$S_H=4580$  [кВА];  $P_H=4000$ кВт;  $Q_H=2230$  кВар;  $KПД=0,97$ ;  $\cos\phi=0,96$ ;  $n=3000$  об/мин;  $D_1=8,89$  кВт;  $D_2=11,56$  кВт; количество циркулирующей воды для охлаждения воздуха при  $30^\circ\text{C}$   $x=56$  м<sup>3</sup>/ч. [10]

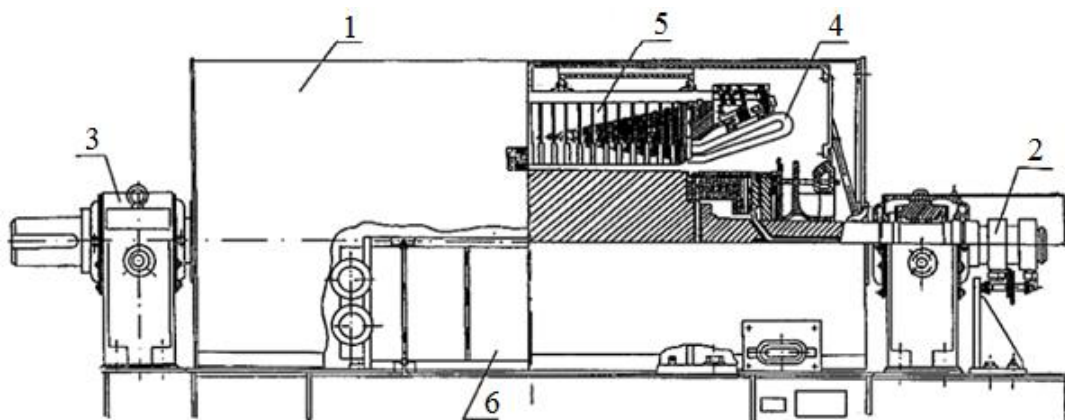


Рисунок 5 – Электродвигатель СТД-4000-2: 1 – Электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – центробежный нагнетатель; 4 – обвязка гпа; 5 – местный щит управления; 6 – АВО масла

В работе находились от одного до двух агрегатов, так как один выводится в плановый ремонт, другие находятся в резерве. В результате при реконструкции имеет смысл сократить количество газоперекачивающих агрегатов с шести до трех (два в работе, один в резерве), т.к. все ГПА задействованы во время работы КС не были. В результате суммарная мощность электроприводов газоперекачивающих агрегатов составит 12 МВ. Следующим шагом на этапе реконструкции – замена старых синхронных электродвигателей на новые асинхронные. При этом, используя преобразователи частоты для точного регулирования давления газа.

Согласно обзору литературы [10] приведем основные особенности СТД-4000-2. Данный электродвигатель относится к двигателям закрытого типа с замкнутым циклом вентиляции, который выполнен с одним рабочим концом вала, соединяющимся с валом приводимого механизма посредством муфты.

Синхронный электродвигатель легче входит в синхронизм в случае большего значения критического скольжения. В случае, когда агрегат имеет сравнительно малые маховые массы, а также малый момент сопротивления, целесообразно синхронизировать двигатель при пониженном напряжении, а после переключить его на полное напряжение.

При тяжелом пуске, когда кривая момента вращения электродвигателя при пониженном напряжении пересекается с кривой момента сопротивления агрегата при скольжении, превышающем критическое значение, электродвигатель не сможет войти в синхронизм. В таком случае нужно переключить агрегат на полное напряжение в асинхронном режиме и, когда синхронный двигатель дойдет до критического скольжения, тогда подавать напряжение возбуждения. Только после этого рассмотренный электродвигатель может принимать нагрузку. В связи с особенностями его пуска и эксплуатации синхронный двигатель нуждается в релейной защите, а именно:

- продольной дифференциальной защите от коротких замыканий в кабельной линии, а также в статорной обмотке двигателя;

- от однофазных коротких замыканий на землю, посредством выполнения защиты с использованием трансформаторов ТЗЛМ с действием на отключение;
- минимального напряжения с выдержкой времени на отключение;
- от асинхронного режима работы электродвигателя, выполненную токовой, направленной, действующей на отключение при повторяющемся изменении знака угла сдвига фаз между током статора и напряжением при несинхронной работе с сетью;
- от пробоя вентилей возбудителя в цепи обмотки возбуждения двигателя с действием на отключения; технологические, осуществляемые системой "Электра" с действием на отключение;
- от длительности форсировки с действием на сигнал.

Напряжение питания электродвигателей СТД-4000-2 – 10кВ. Пуск агрегатов осуществляется с машинного зала КЦ от щита управления, путем подачи сигнала в РП10кВ на включение высоковольтного выключателя. Электродвигатель имеет 3000 об/м и через передаточный редуктор центробежный нагнетатель развивает 8000 об/м, тем самым создает требующие давление в магистральном газопроводе. Давление регулируют запорно-регулирующей арматурой. Охлаждение подшипников СТД2-4000-2 и механизмов ГПА масляное, которое нагнетается вспомогательными насосами. Масло охлаждается в АВО вентиляционными установками и в зимнее время при пуске агрегата нагревается до требуемой температуры электрическими тэнами.

[6]

Согласно источникам литературы [10, 11] была разработана (таблица 3) достоинств и недостатков рассмотренных синхронных двигателей.

Таблица 3 – Достоинства и недостатки синхронного двигателя

СТД-4000-2	
Достоинства	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> <li>• возможность работы при <math>\cos(\varphi)=1</math>; это приводит к улучшению <math>\cos(\varphi)</math> сети, а также к сокращению размеров двигателя, так как его ток меньше тока асинхронного двигателя той же мощности;</li> <li>• меньшую чувствительность к колебаниям напряжения, так как их максимальный момент пропорционален напряжению в первой степени (а не квадрату напряжения);</li> <li>• строгое постоянство частоты вращения независимо от механической нагрузки на валу.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• сложность конструкции;</li> <li>• сравнительная сложность пуска;</li> <li>• трудности с регулированием частоты вращения;</li> <li>• регулировка давления газа возможно только при помощи задвижек;</li> <li>• возможность выпадения из синхронизма.</li> </ul>

На КС «Александровская» был проведен опрос управляющего и исполняющего персонала в компрессорном цехе, который показал, что есть некоторые эксплуатационные особенности ГПА на основе СТД. А именно:

1. Прямой пуск СТД-4000-2 был настолько сложным, что двигатель начинал искрить. А так как охладителем являлось масло, которое вследствие износа агрегата протекало – это чрезвычайно огне- и взрывоопасно, что не допустимо в газовой отрасли;

2. Абсолютное отсутствие автоматизации и частотного преобразователя;

3. Масло охлаждается в АВО вентиляционными установками и в зимнее время при пуске агрегата нагревается до требуемой температуры электрическими тэнами 200 кВт, что энергозатратно, а также является достаточно долговременным процессом;

4. В летнее время АВО необходимо обливаться холодной водой, чтобы избежать перегрева (АВО расположено на открытом воздухе);

5. Подшипники агрегатов очень часто находились в ремонте, т.к. электрические и магнетательные машины значительно массивны, а частота

вращения вала центробежного нагнетателя составляет 8000 об/мин, что вызывает высокую вероятность поломок, технически устаревших ГПА.

В связи с невозможностью точного регулирования давления газа при помощи запорно-регулирующей арматуры, а также других отрицательных моментов эксплуатации СД имеет смысл заменить их на более современные.

В результате, заменой СТД-4000-2 может служить асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, как российского [12], так и иностранного производства [9]. Рассмотрим технические характеристики двигателя АРМ-4000/10-2УХЛ4, которые приведены в таблице 4, представленного на рисунке 6.

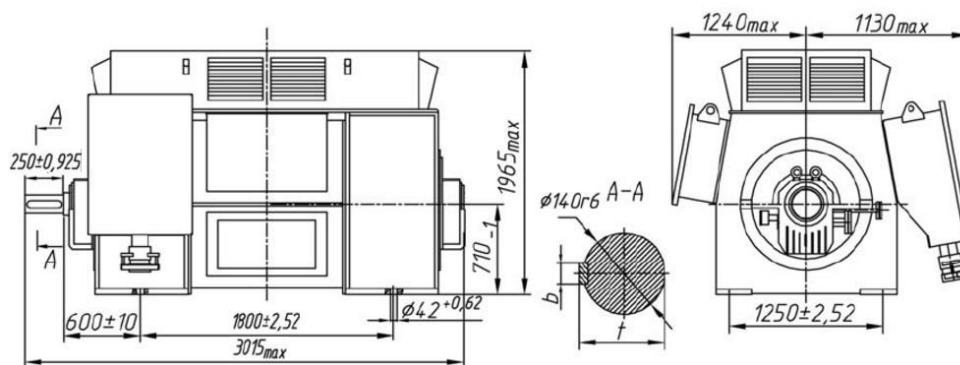


Рисунок 6 – Асинхронный двигатель АРМ-4000/10-2УХЛ4

Таблица 4 – Технические характеристики двигателя АРМ-4000/10-2УХЛ4

Заданные величины	Условное обозначение	Единица измерения	Численное значение
Линейное напряжение	$U_{л}$	В	10000
Мощность двигателя	$P_{дв.}$	Вт	4000
КПД	$\eta_n$	%	97,1
Синхронная частота вращения	$n_c$	об/мин	3000
Коэффициент мощности	$\cos \varphi_n$	о.е.	0,9
Ток статора	$I$	А	262
Кратность пускового тока	$k_i$	о.е.	6,4
Кратность пускового момента	$k_n$	о.е.	0,85
Кратность максимального момента	$\lambda_m$	о.е.	2,5
Число фаз двигателя	$m$	-	3
Степень защиты		-	IP54
Масса	$M$	кг	11300

Устаревший СТД-4000-2 с повышающим редуктором обеспечивал синхронную частоту вращения 8000 об/мин. Высоковольтный электродвигатель АРМ-4000/10-2УХЛ4 имеет достаточно хорошие характеристики, но его синхронная частота вращения составляет 3000 об/мин, следовательно, также, как и для СТД-4000-2 понадобится редуктор для повышения частоты вращения. На сегодняшний день электротехника достаточно развита, вследствие чего для асинхронного двигателя наиболее высокоэффективным будет использование преобразователя частоты вместо редуктора.

Отечественный электродвигатель АРМ конечно дешевле, чем иностранный, но лучше купить один раз дорогой и высококачественный Siemens с возможностью частотного регулирования, чем четыре раза двигатель отечественного производства.

Рассмотрим второй АД фирмы Siemens типа 1TA2832-4AU01-Z (рисунок 7), технические характеристики которого приведены в таблице 5.

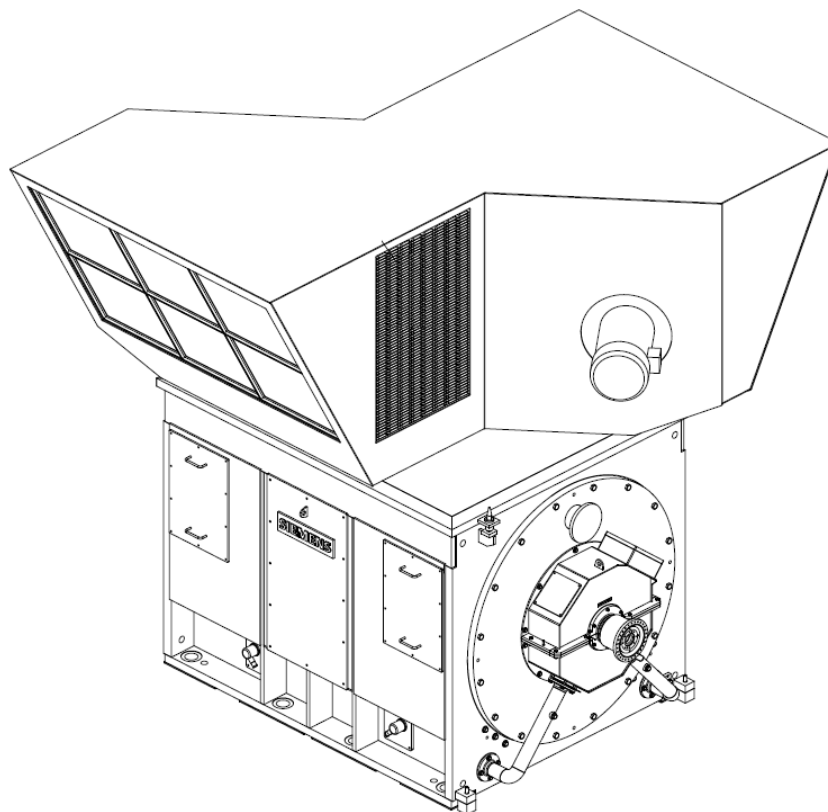


Рисунок 7 – Внешний вид АД Siemens 1TA2832-4AU01-Z в сборе с системой воздушного охлаждения

Таблица 5 – Технические характеристики выбранного двигателя Siemens 1TA2832-4AU01-Z

Заданные величины	Условное обозначение	Единица измерения	Численное значение
Линейное напряжение	$U_l$	В	3300
Мощность двигателя	$P_{\text{ов.}}$	Вт	4000
КПД	$\eta_n$	%	96
Синхронная частота вращения	$n_c$	об/мин	8200
Коэффициент мощности	$\cos \varphi_n$	о.е.	0,74
Ток в фазе номинальный	$I_{\text{ном}}$	А	930
Кратность пускового тока	$k_i$	о.е.	5,5
Кратность пускового момента	$k_n$	о.е.	1,4
Кратность максимального момента	$\lambda_m$	о.е.	2,1
Число фаз двигателя	$m$	-	3
Степень защиты		-	IP55
Масса	М	кг	15200

Согласно источнику литературы [11] была разработана (таблица 6) достоинств и недостатков АД с КЗ типа 1TA2832-4AU01-Z фирмы Siemens.

Таблица 6 – Достоинства и недостатки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

АД с КЗ типа 1TA2832-4AU01-Z	
Достоинства	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> <li>• простота в обслуживании и эксплуатации;</li> <li>• простота конструкции;</li> <li>• сравнительно низкая стоимость;</li> <li>• высокая надежность;</li> <li>• безмасляное охлаждение посредством вентиляторов;</li> <li>• относительно безлюдная технология;</li> <li>• плавная регулировка частоты вращения вала электродвигателя;</li> <li>• плавная и точная регулировка давления газа;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• малый пусковой момент и большой пусковой ток;</li> <li>• чувствительны к изменениям параметров в сети;</li> <li>• для плавного регулирования скорости обязателен ПЧ.</li> </ul>



<ul style="list-style-type: none"> <li>• возможность производить пуск и остановку агрегатов, а также регулировку давления газа дистанционно из г. Томска;</li> <li>• отсутствие подшипников – использование магнитных подвесов, следовательно, высокий КПД для массивного и высокомоощного двигателя;</li> <li>• отсутствие редуктора.</li> </ul>	
---	--

Стоит отметить то, что для ГПА, в состав которого входит АД типа 1TA2832-4AU01-Z не требуется редуктор, потому что частота вращения вала двигателя соответствует требуемой (8000 об/мин). Частота же вращения вала асинхронный двигатель типа АРМ-4000/10-2УХЛ4 составляет 3000 об/мин, вследствие чего в состав ГПА требуется включение повышающего редуктора, который значительно уменьшит все основные технические показатели и достоинства данного двигателя.

В результате из всего вышесказанного следует, что замена устаревших СТД2-4000 на АД с КЗ типа 1TA2832-4AU01-Z производства фирмы Siemens более чем целесообразна. Т.к. с новыми агрегатами в первую очередь процесс «дожима» газа стал более безопасным, во-вторых менее энергозатратным, в-третьих автоматизированным и эффективным.

### 1.2.3 Модернизация системы вентиляции КС

В состав старого оборудования системы вентиляции компрессорного цеха входили взрывозащищенные электродвигатели серии ВАО (взрывозащищенный, асинхронный, обдуваемый) мощностью 0,4 кВт. Данный тип двигателя, снятый с производства, представлен на рисунке 8. [13]



Рисунок 8 – Взрывозащищенный электродвигатель серии ВАО

Для максимальной возможности устранения загазованности в КЦ необходима установка двухуровневой системы вентиляции в составе с современными искробезопасными электродвигателями Siemens 1MA7. Двигатели с повышенной безопасностью и высокой надежностью для применения на взрывоопасных объектах в химической, нефтяной промышленности и в газовой отрасли:

- Номинальная мощность: 0,12 - 165 кВт (0,4 кВт);
- Типоразмер: 63 – 315;
- Алюминиевый корпус: 3000, 1500, 1000, 750 об/мин;
- Чугунный корпус: 3000, 1500, 1000, 750 об/мин;
- Напряжение: 220/380В, 380/660В 50Гц;
- Степень защиты: IP55. [14]

Данный тип двигателя представлен на рисунке 9.



Рисунок 9 – Искробезопасный электродвигатель Siemens 1MA7

#### 1.2.4 Замена осветительного оборудования компрессорной станции

Замену осветительного оборудования компрессорной станции рассмотрим на примере светильников, потребляемых наибольшее количество активной мощности.

В состав старого осветительного оборудования пяти осветительных мачт на территории ГКС входят галогеновых лампы, мощностью по 1000 Вт в количестве 30 шт. Целесообразно произвести замену галогеновых ламп на светодиодные фирмы ВЭЛАН, мощностью 200 Вт каждая. Светодиодная лампа осветительной мачты КС представлена на рисунке 10. [15]



Рисунок 10 – Общепромышленный модульный светодиодный светильник ВЭЛАН

В результате потребляемая мощность осветительных мачт снизится на 73%.

Также в состав старого осветительного оборудования КЦ входят 74 взрывозащищенных светильника мощностью 200 Вт каждый. Целесообразно произвести замену данных светильников на взрывозащищенные светодиодные светильники ВЭЛАН 50 Вт, представленные на рисунке 11. [15]



Рисунок 11 – Взрывозащищенный светодиодный светильник ВЭЛАН

В результате замены данных светильников получим снижение потребляемой мощности данным типом светильников на 75%.

Также и в результате полномасштабной замены остального осветительного оборудования на вспомогательных объектах компрессорной станции получим значительное снижение потребляемой мощности, что в свою очередь приведет к снижению потребления электроэнергии.

### Вывод

Согласно плану модернизации, были получены следующие результаты:

Произведена замена технически устаревших газоперекачивающих агрегатов на КС «Александровская». Целью замены ГПА является улучшение процесса перекачивания природного газа главным образом за счет автоматизации процесса. Также в результате замены высоковольтных синхронных электродвигателей на асинхронные, преследуется значительное улучшение процесса пуска электродвигателей. А именно, возможность плавного и точного частотного регулирования вращения валов ГПА до 8000 об/мин, и давления газа в пределах 3,81 – 4,41 МПа. Также был проведен сравнительный анализ асинхронных электродвигателей различных производителей, в результате которого наиболее целесообразным решением будет установка на данную КС АД фирмы Siemens.

Установка двухуровневой автоматической вытяжной системы вентиляции в дополнении с аварийной системой загазованности помещений в компрессорном цехе, привела к улучшенным условиям труда и повышенной безопасности для персонала при эксплуатации компрессорного оборудования.

Замена осветительного оборудования во всех цехах, а также на пяти осветительных мачтах по всей территории компрессорной станции, привела к уменьшению потребления активной мощности с 30 кВт до 9 кВт, что привело к значительному снижению потребления электроэнергии в сутки.

## 2 Расчёт и выбор силового оборудования системы регулируемого электропривода

### 2.1 Расчёт мощности двигателя, выбор двигателя и компрессорного агрегата

Расчетную часть ВКР проводим по методикам [16-20].

Исходные данные к работе представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Исходные данные

Производительность, м <sup>3</sup> /с	Работа сжатия 1 м <sup>3</sup> воздуха до раб. дав., Дж/м <sup>3</sup>	КПД компрессора	КПД передачи	Коэффициент запаса	Давление, МПа
3,67	$7,7 \cdot 10^5$	0,85	0,95	1,1	4,41

По формуле определяется необходимая расчетная мощность, для дальнейшего выбора двигателя:

$$P_{op} = K_z \frac{Q \cdot A}{\eta_{ки} \cdot \eta_n} \cdot 10^{-3} = 1,1 \cdot \frac{3,67 \cdot 7,7 \cdot 10^5}{0,85 \cdot 0,95} \cdot 10^{-3} = 3850 \text{ кВт}$$

$$P_k = \frac{Q \cdot A}{\eta_{ки}} \cdot 10^{-3} = \frac{3,67 \cdot 7,7 \cdot 10^5}{0,85} \cdot 10^{-3} = 3325 \text{ кВт}$$

где,

$P_{op}$  — расчетная мощность ЭД компрессора, кВт;

$K_z$  — коэффициент запаса;

$P_k$  — мощность компрессора, кВт;

$Q$  — производительность компрессора, м<sup>3</sup>/с;

$\eta_{ки}$  — КПД компрессора, индикаторный, отн. ед.;

$\eta_n$  — КПД передачи, отн. ед.;

$A$  — объемная плотность энергии (работа сжатия 1 м<sup>3</sup> воздуха до рабочего давления), Дж/м<sup>3</sup>.

Согласно рекомендациям пособия [16] ввиду большого значения давления исходный график  $P_2 = F(A)$  был аппроксимирован и получено значение давления:

$$P_2 = 44 \text{ атм}$$

Рекомендуемый ЭП — АД с КЗ-ротором.

Из условия  $\eta_{\text{п}} = 1$  (прямое соединение,  $n_c = 8200$  об/мин).

Выбран двигатель АД фирмы Siemens типа 1TA2832-4AU01-Z, технические характеристики которого приведены в таблице 5. [9]

Технические данные электродвигателя основного исполнения, степень защиты IP 55, класс нагревостойкости изоляции «F».

Из каталога [21] выбирается нагнетатель, 220-11-1СМП центробежный - на конечное давление 4.41 МПа и степень сжатия 1.26 с сухими уплотнениями, магнитным подвесом и левым подводом газа (если смотреть со стороны привода), по номинальной мощности электродвигателя 1TA2832-4AU01-Z (рисунок 12), технические характеристики которого приведены в таблице 8.

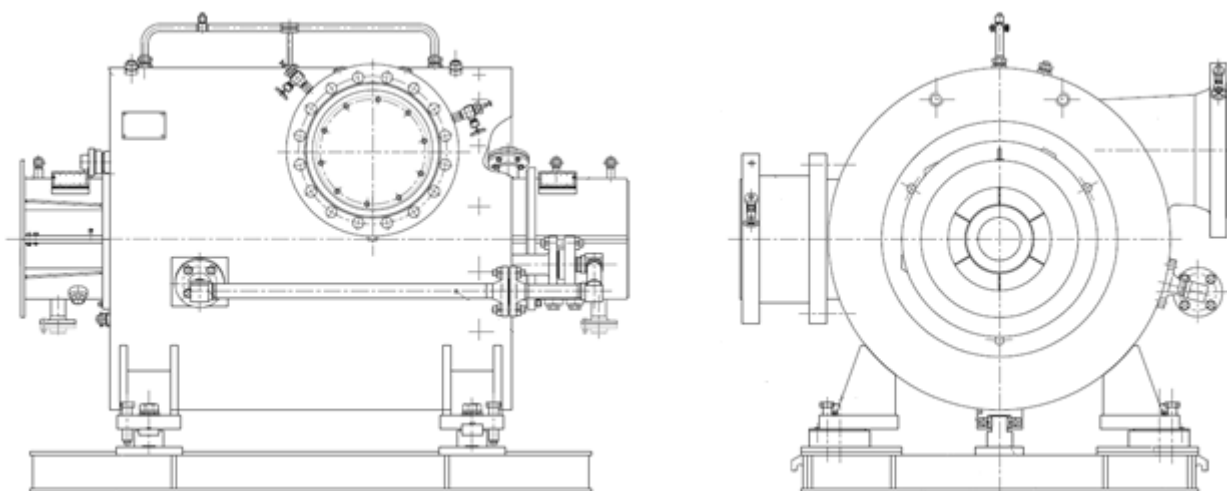


Рисунок 12 – Центробежный нагнетатель 220-11-1СМП

Таблица 8 – Основные параметры ЦБН 220-11-1СМП

Наименование параметра	Ед. измер.	Значение
Производительность отнесенная к 20°С и 0,1013 МПа	млн.м <sup>3</sup> /сут	12,5
Производительность отнесенная к начальным условиям	м <sup>3</sup> /мин.	220
Номинальная механическая мощность, потребляемая нагнетателем на муфте электродвигателя,	кВт	3800
Политропный КПД		0,85

Продолжение таблицы 8

Масса	кг	14 220
Диапазон рабочих температур	°С.	от 5 до 45
Степень защиты, не хуже	-	IP55.
Размеры	мм	См. 4386.000 СБ

## 2.2 Выбор преобразовательного устройства для системы регулируемого электропривода

Преобразователь частоты - это техническое устройство, которое состоит из выпрямителя, в свою очередь преобразующего переменный ток промышленной частоты в постоянный и инвертора, который преобразует постоянный ток в переменный ток требуемых частоты, а также амплитуды.

Использование системы управления электроприводами – ПЧ-АД приводит к значительным экономическим эффектам, которые достигаются благодаря следующим факторам:

- экономии электрической энергии от 50% до 60% за счет регулирования производительности с помощью изменения частоты вращения вала электродвигателя в отличие от различных способов регулирования, к примеру, регулирования способом включения или отключения и т.д.;
- повышения качества технической продукции;
- увеличения объемов выпускаемой продукции, а также производительности производственного оборудования;
- увеличения срока службы технологического оборудования, которое достигается благодаря улучшению динамики работы электрического привода.

Частотно-регулируемый электропривод включает в свой состав асинхронный электрический двигатель М и конечно преобразователь частоты ПЧ (рисунок 13):

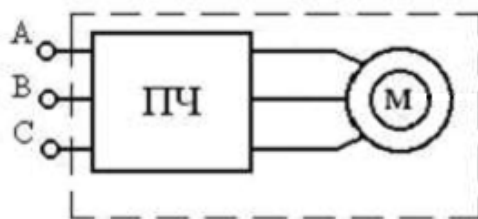


Рисунок 13 – Общая структура частотно-регулируемого электропривода:

ПЧ – преобразователь частоты; М – асинхронный двигатель

Преобразователь выбирается из условия:  $I_{н\ пч} \geq I_{н\ дв}$ , т.е.  $I_{н\ пч} \geq 930\ А$ .

Выбран преобразователь частоты 6SL3810-2LN41-1AA0 (далее ПЧ) производства немецкой фирмы Siemens (рисунок 14), основные характеристики которого представлены в таблице 9 [22].



Рисунок 14 – ПЧ SIEMENS 6SL3810-2LN41 -1AA0

Таблица 9 – Основные параметры ПЧ

Наименование параметра	Ед. измер.	Значение	Примечание
Номинальное напряжение питающей сети	кВ	6 (10)	В соответствии с ГОСТ 13109-97
Номинальная частота тока питающей сети	Гц	50	В соответствии с ГОСТ 13109-97
Номинальный ток	А	1100	
Номинальная мощность ПЧ	кВА	6300	
Выходное номинальное напряжение ПЧ, трехфазное	В	3300	
Номинальная выходная частота ПЧ	Гц	136,7	



Продолжение таблицы 9

Диапазон рабочих выходных частот ПЧ	Гц	0...150	
КПД ПЧ в номинальном режиме (без трансформатора) не менее	%	98	
КПД ПЧ в рабочем диапазоне частот (с учетом КПД трансформатора) не менее	%	95	
Температура окружающей среды: работа хранение транспортировка	°С	+5...+40 25...+55 25...+70	Хранение при отрицательных температурах – без деионизированной воды в контуре охлаждения

Преобразователь частоты построен на базе мощных высокоэффективных полупроводниковых ключей IGBT, которые способны обеспечивать высокий КПД преобразования электрической энергии, а также компактность самого преобразователя. Основной функцией ПЧ является – регулирование частоты вращения вала асинхронного двигателя (АД), которое осуществляется за счет регулирования частоты напряжения, питающего АД. Получение нужной частоты основано на применении ШИМ.

Преобразователь частоты работает с АД по методу векторного управления без датчика скорости. Дынный ПЧ способен осуществлять регулировку частоты выходного напряжения в пределах 0...150 Гц, а также регулировку величины выходного напряжения – в пределах 0...3300 В.

ПЧ запитывается через 12-пульсную схему выпрямления от двух согласующих трансформаторов, которые в свою очередь соединены с ПЧ при помощи четырех трехфазных силовых токопроводящих шин. В случае резервирования, ПЧ запитывается через 24-пульсную схему выпрямления.

ПЧ снабжен защитами от следующих ситуаций:

- Короткое замыкание в цепи питания АД;
- Превышение максимального тока питания АД;

- Заклинивание АД;
- Высокое/низкое напряжение в звене постоянного тока;
- Многофазное короткое замыкание входных шин на землю;
- Нарушение баланса в фазах двигателя.

Охлаждение ПЧ – принудительное водяное. Осуществляется встроенными вентиляторами.

ПЧ состоит из четырех шкафов, собранных в несколько секций, которые могут быть состыкованы на объекте.

Основные компоненты ПЧ SIEMENS 6SL3810-2LN41-1AA0 представлены на рисунке 15:

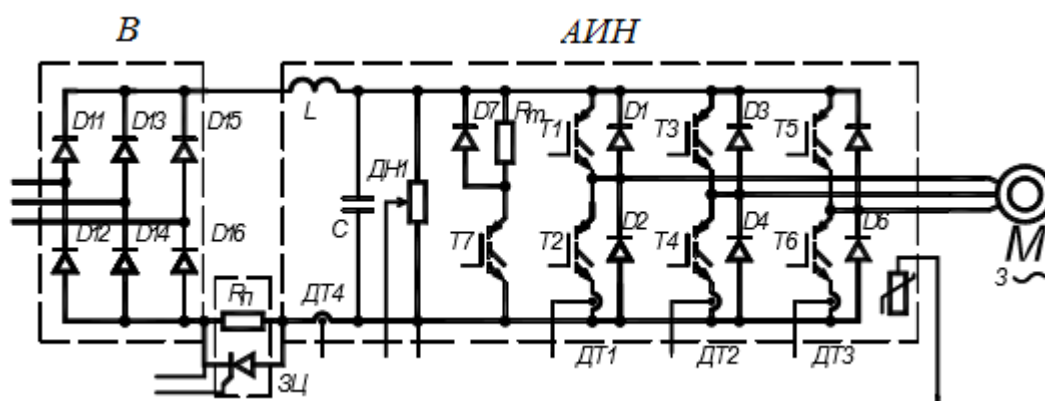


Рисунок 15 – Основные компоненты ПЧ SIEMENS 6SL3810-2LN41 -1AA0:

В – выпрямитель; АИН – автономный инвертор напряжения; М – асинхронный двигатель

Функционально и конструктивно преобразователь частоты ПЧ подразделяется:

- Шкаф системы управления «Шкаф управления»;
- Шкаф системы охлаждения «Установка водяного охлаждения»;
- Шкаф выпрямителя «Шкаф выпрямителя»;
- Шкаф звена постоянного тока «Шкаф конденсаторов»;
- Шкаф инвертора «Шкаф инвертора»;
- Шкаф фильтра  $dU/dt$  «Шкаф фильтров один»;
- Шкаф синусного фильтра «Шкаф фильтров два».

Кроме этого, в состав преобразователя входят согласующий трансформатор и зарядный трансформатор, находящийся в кабельном коробе согласующего трансформатора.

ПЧ 6SL3810-2LN41-1AA0 обеспечивает:

- частотный пуск, а также регулирование частоты вращения вала электродвигателя;
- работу асинхронного электродвигателя при изменении момента нагрузки от 0 до номинального;
- поддержание предельного момента электродвигателя, определяемого допустимым предельным током преобразователя;
- разгон двигателя с заданным ускорением в пределах допустимой перегрузки преобразователя по току;
- поддержание заданной частоты вращения вала двигателя;
- ограничение тока в динамических режимах, а также при перегрузках.

Наиболее эффективного управления АД можно достичь при одновременном использовании частоты, как управляющего воздействия каналом регулирования скорости, и напряжения – в канале регулирования потока. М. П. Костенко является основоположником данного способа управления. Для идеального электродвигателя, у которого активное сопротивление обмотки статора приравнивается нулю справедлива зависимость:

$$\frac{U_1}{U_{1n}} = \frac{f_1}{f_{1n}} \sqrt{\frac{M_c}{M_n}}$$

Следуя вышеприведенному уравнению можно регулировать как момент, так и скорость двигателя.

На данный момент широкое распространение получили способы регулирования, при которых отношение между  $U_1$  и  $f_1$  постоянно. Варианты управления перечислены ниже (рисунок 16):

$$a). \frac{U_1}{f_1^2} = const; \quad б). \frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = const; \quad в). \frac{U_1}{f_1} = const.$$

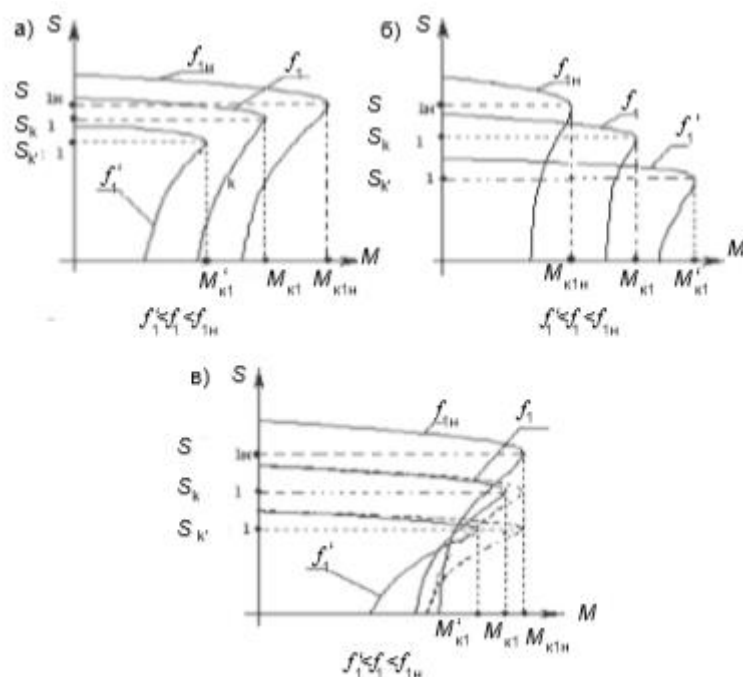


Рисунок 16 – Механические характеристики для различных законов частотного управления АД

В данном случае целесообразно использование закона  $U_1 / f_1^2 = const$  при вентиляторном характере нагрузки. Этот закон позволяет получить большие моменты на высоких скоростях, а также производить регулирование частоты вращения согласно техническим параметрам выбранного преобразователя частоты (диапазон рабочих выходных частот ПЧ 0...150 Г) [16, 17].

## 2.3 Расчёт и выбор основных силовых элементов системы регулируемого электропривода

### 2.3.1 Расчет инвертора

Методика расчетов приводится для ПЧ с автономным инвертором напряжения, который выполнен с использованием гибридных модулей, состоящих из ключей IGBT, а также обратных диодов FWD, которые смонтированы в одном корпусе на общей пластине теплоотведения.

Максимальный ток через ключи инвертора определяется из выражения:

$$I_{c \max} = \frac{P_{\text{ном.}} \cdot k_1 \cdot \sqrt{2} \cdot k_2}{\eta_{\text{ном.}} \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} = \frac{4000000 \cdot 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,1}{0,95 \cdot 0,74 \cdot \sqrt{3} \cdot 3300} = 1858 \text{ A};$$

Где,  $P_{\text{ном.}}$  — номинальная мощность двигателя, Вт;

$k_1$  — коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току [1,2 ÷ 1,5];

$k_2$  — коэффициент допустимой мгновенной пульсации тока [1,1 ÷ 1,2];

$\eta_{\text{ном.}}$  — номинальный КПД двигателя.

$U_{\text{л}}$  — линейное напряжение двигателя.

Выбираем 3-уровневый инвертор (ШИМ) в NPC (Neutral Point Clamped) топологии с 3.3 кВ HV-IGBT фирмы Siemens для шкафа ПЧ SINAMICS GM150.

Параметры инвертора:  $I_{\max} = 2500 \text{ A}$ ,  $U_{\max} = 3,3 \text{ кВ}$ . [22]

Потери IGBT в проводящем состоянии:

$$P_{SS} = I_{cp.} \cdot U_{ce.sat} \left( \frac{1}{8} + \frac{D \cdot \cos \theta}{3 \cdot \pi} \right) = 1549 \cdot 2,1 \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{0,95 \cdot 0,74}{3 \cdot 3,14} \right) = 649,1 \text{ Вт}$$

Где,

$D$  - скважность

$\cos \theta \approx \cos \varphi$  - коэффициент мощности

$U_{ce.sat} = 2,1 - 2,2 \text{ В}$  - прямое падение IGBT в проводящем состоянии при  $I_{cp}$  и

$T_j = 150^\circ \text{ C}$ .

Потери IGBT при коммутации:

$$P_{sw} = \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{(I_{cp.} \cdot U_{cc}) \cdot (t_{cOn} + t_{cOff}) \cdot f_{sw}}{2} =$$

$$= \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{(1549 \cdot 3300) \cdot (2 \cdot 10^{-9} + 2,75 \cdot 10^{-7}) \cdot 8000}{2} = 1274 \text{ Вт}$$

Где,

$I_{cp.} = \frac{I_{c \max}}{k_1} = \frac{1858}{1,2} = 1549 \text{ A}$  - максимальная амплитуда тока на входе инвертора;

$U_{cc} = 3300 \text{ В}$  - коммутируемое напряжение равное напряжению звена постоянного тока системы АИН-ШИМ;

$t_{cOn} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ с}$  - время открывания транзистора;

$t_{cOff} = 2,75 \cdot 10^{-7} \text{ с}$  - время закрывания транзистора;

$f_{sw} = 8000 \text{ Гц}$  - частота коммутации ключей.

Суммарные потери:

$$P_Q = P_{sw} + P_{ss} = 1274 + 649,1 = 1924 \text{ Вт.}$$

Потери диода в проводящем состоянии:

$$P_{DS} = I_{ep} \cdot U_e \left( \frac{1}{8} + \frac{D \cdot \cos \theta}{3 \cdot \pi} \right) = 1549 \cdot 3100 \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{0,95 \cdot 0,74}{3 \cdot 3,14} \right) = 9,582 \cdot 10^5 \text{ Вт,}$$

Где,

$D$  - скважность

$\cos \theta \approx \cos \varphi$  - коэффициент мощности

$U_e = 3100 \text{ В}$  - прямое падение напряжения на диоде в проводящем состоянии.

Потери диода при восстановлении запирающих свойств:

$$P_{DR} = \frac{1}{8} (I_{rr} \cdot U_{cc} \cdot t_{rr} \cdot f_{sw}) = \frac{1}{8} (120 + 3300 + 1 \cdot 10^{-8} \cdot 8000) = 3,96 \text{ Вт,}$$

Где,

$I_{rr} = 120 \text{ А}$  - амплитуда обратного тока через диод;

$U_{cc} = 3300 \text{ В}$  - напряжение на коллекторе IGBT;

$t_{rr} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ с}$  - продолжительность импульса обратного тока;

$F_{sw} = 8000 \text{ Гц}$  - частота коммутации ключей.

Суммарные потери диода:

$$P_D = P_{DR} + P_{DS} = 3,96 + 9,582 \cdot 10^5 = 9,582 \cdot 10^5 \text{ Вт}$$

Результирующие потери IGBT с обратным диодом:

$$P_T = P_D + P_Q = 9,582 \cdot 10^5 + 1924 = 9,601 \cdot 10^5 \text{ Вт.}$$

### 2.3.2 Расчет выпрямителя

Максимальное значение среднего выпрямленного тока:

$$I_{dm} = \frac{\sqrt{3} \cdot \left( \frac{I_{c\max}}{\sqrt{2}} \right) \cdot U_l \cdot \cos \varphi + n \cdot P_T}{U_d} =$$
$$= \frac{\sqrt{3} \cdot \frac{1858}{\sqrt{2}} \cdot 3300 \cdot 0,74 + 6 \cdot 9,601 \cdot 10^5}{4455} = 2541 \text{ A}$$

Где,

$U_d = 1,35 \cdot U_l$  - среднее выпрямленное напряжение;

$n = 6$  - количество пар транзистор/диод в инверторе.

Максимальный рабочий ток диода:

$$I_{vm} = k_{cc} \cdot I_{dm} = 1,045 \cdot 2541 = 2655 \text{ A}$$

Где,

$k_{cc}$  - коэффициент для мостовой трехфазной схемы при оптимальных параметрах Г-образного LC фильтра.

Максимальное обратное напряжение диода:

$$U_{vm} = k_{з.н.} \cdot \sqrt{2} \cdot U_l \cdot k_{с.н.} \cdot k_c + \Delta U_n = 1,15 \cdot \sqrt{2} \cdot 3300 \cdot 1,35 \cdot 1,1 + 330 = 8300 \text{ B}$$

Где,

$k_{з.н.}$  - коэффициент запаса по напряжению [ $\geq 1,15$ ]

$k_c$  - коэффициент допустимого повышения напряжения [ $\geq 1,1$ ]

$\Delta U_n$  - запас на коммутационные выбросы напряжения в звене постоянного тока.

Выбор модуля:

Диоды выбираются по постоянному рабочему току (не менее  $I_{vm}$ ) и по классу напряжения (не менее  $U_{vm} / 100$ ).

Выбирается 12-пульсный диодный выпрямитель GM150 фирмы Siemens для шкафа ПЧ SINAMICS.

*Характеристики:*

$I_{np.} = 2655 \text{ A}$  - максимальный рабочий ток диода.

$U_j = 3300 \text{ B}$  - прямое падение напряжения.

$R_{on} = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$  - динамическое сопротивление полупроводникового прибора в проводящем состоянии.

$R_{th(CF)v} = 0,1 \frac{\text{°C}}{\text{Вт}}$  - термическое сопротивление корпус-поверхность теплопроводящей пластины.

$R_{th(JC)dv} = 0,23 \frac{\text{°C}}{\text{Вт}}$  - термическое переходное сопротивление кристалл-корпус.

Расчет потерь в выпрямителе для установившегося режима работы:

$$P_{DV} = m_v \cdot k_{cs} \cdot \left( U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} \right) \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} = 6 \cdot 0,57 \cdot \left( 3300 + 9,5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{2541}{1,2} \right) \cdot \frac{2541}{1,2} = 2,404 \cdot 10^7 \text{ Вт}$$

Где,

$m_v$  - число полупроводниковых приборов в схеме

$k_{cs}$  - коэффициент для трехфазной мостовой схемы

### 2.3.3 Расчет параметров охладителя

В шкафах ПЧ SINAMICS GM150 применяется стандартная водяная система с блоком охлаждения и резервированными насосами (по умолчанию) фирмы Siemens, которая обеспечивает необходимый отвод тепла от модульных блоков электроники. Также возможна установка воздушного охлаждения с отказоустойчивыми вентиляторами (опция) [22].

Расчеты по системе охлаждения не приведены, т.к. на режимном предприятии методика Siemens закрыта и нет допуска к шкафам. Рассмотрение и установка другого аналогичного оборудования невозможна, потому что в этом



случае предприятие лишается гарантии на дорогостоящее оборудование. То же самое касается и ряда другого оборудования, расчеты которого не приведены.

## 2.4 Выбор аппаратуры управления и защиты

### 2.4.1 Выбор и обоснование датчика давления

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

К устройствам, предназначенным для получения информации о состоянии процессов, образующим канал сбора и преобразования информации, относят чувствительные технические элементы или собственно датчики.

Датчики физических величин фиксируют контролируемые параметры и затем преобразуют их в величины, удобны для передачи по каналам связи или для дальнейшего преобразования.

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

В данном ТП в качестве измерительных устройств используются, датчики давления газа при входе в нагнетатель и при выходе газа из нагнетателя (ДД).

Датчики предназначены для преобразования давления рабочих сред: жидкости, пара, газа в унифицированный токовый выходной сигнал и цифровой сигнал.

Точность измерений давления природного газа характеризуют следующие факторы:

- порог чувствительности датчика – это есть минимальное изменение входной величины, которое вызывает изменение выходного сигнала;
- основная погрешность датчика – это есть максимальная разность между получаемой в нормальных эксплуатационных условиях величиной выходного сигнала и его номинальным значением, которая определяется по статической характеристике для данной входной величины;
- дополнительные погрешности датчика – это погрешности, вызываемые изменениями внешних условий по сравнению с нормальными условиями (температурная погрешность и др.).

В комплект поставки преобразователя частоты 6SL3810-2LN41-1AA0 входит стандартный датчик давления фирмы Siemens для ГПА. Аналогом может служить датчик давления Fuji Electric серии FCX-All, предназначенный для работы в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами, который представлен на рисунке 17. [23]



Рисунок 17 – Датчик давления Fuji Electric серии FCX-All

Аналог приводится для визуализации внешнего вида, технических параметров подобных устройств, но устанавливать датчик на КС подобного типа необходимо только фирмы Siemens.

Технические характеристики датчика давления газа Fuji Electric серии FCX-All сведены в таблицу 10 [23].

Таблица 10 – Технические характеристики преобразователи давления

Название	FCX-All
Тип	Дифференциальный
Диапазоны давления	3,2...103,5 МПа
Точность	$\pm 0,065 \%$
Выходной сигнал	4-20 мА (дистанционной передачи)
Питание	10,5...45 В постоянного тока
Температурные условия	-40 °С...+120 °С
Исполнение для опасных зон	Искробезопасный цепь, взрывозащищенный
Пылевлагозащита	IP67
Масса	3,6 кг

#### 2.4.2 Выбор контакторов и автоматов защиты

Выбор аппаратов защиты произведем на участке согласующий трансформатор – выпрямитель. Питание преобразователя частоты производится от двух согласующих трансформаторов. Для этого необходимо рассчитать параметры согласующих трансформаторов на вторичной обмотке.

$$P = 2 \times 2500 \text{ кВа} = 2 \times 2000 \text{ кВт} = 4000 \text{ кВт};$$

$$\cos \varphi = 0,8 \Rightarrow 2500 \text{ кВа} \cdot 0,8 = 2000 \text{ кВт};$$

$$U_{\text{вт}} = 3300 \text{ В};$$

$$I_{\text{вт}} = \frac{P}{1,73 \cdot U_{\text{вт}} \cdot \cos \varphi} = \frac{4000000}{1,73 \cdot 3300 \cdot 0,8} = 875,8 \text{ А}.$$

На участке согласующий трансформатор – выпрямитель, по току и напряжению был выбран высоковольтный вакуумный выключатель ВБПП-10-20/1250 У2 (рисунок 18), технические характеристики которого представлены в таблице 11. [24]



Рисунок 18 – Вакуумный выключатель ВБПП-10-20/1250 У2

Таблица 11 – Технические характеристики вакуумного выключателя ВБПП-10-20/1250 У2

Характеристики	Величина
Номинальное напряжение	10 кВ
Номинальный ток	1250 А
Собственное время включения, не более	0,04 с
Время протекания тока (время короткого замыкания)	3 с
Главные контакты	3
Масса, не более	75 кг

Выбор аппаратов защиты для других участков цепи производится подобным образом.

#### 2.4.3 Выбор источников питания для контроллера

Система управления позволяет обеспечивать векторное управление электродвигателями и обеспечивать защиту преобразователя частоты при возникновении различного рода нештатных ситуаций. Данная система построена на базе контроллера ALSPA C80-НРСi VMIC7700, изображенного на рисунке 19. [25]



Рисунок 19 – Контроллер ALSPA C80-HPi VMIC7700

Основной задачей контроллера является контроль скорости и момента на валу электродвигателя. Для этого контроллер получает и обрабатывает сигналы от датчиков тока и напряжения. Далее уже на основании данных сигналов контроллер формирует импульсы управления IEGT.

В дополнительные задачи контроллера входит выполнение алгоритмов, управление вводной ячейкой и защита двигателя и преобразователя.

Система управления питается от напряжения 230 В.

Шкафы управления также содержат автоматически управляемые реле и пускатели, а также обеспечивают питанием постоянным напряжением 24 В измерительные устройства, которые входят в преобразователь частоты.

Пульт местного управления предназначен для организации локального человеко-машинного интерфейса. [9]

## 2.5 Выбор типа и сечения шины сети высокого напряжения и вспомогательного оборудования

Соединение согласующего трансформатора с ПЧ производится при помощи четырех трехфазных силовых шин, вследствие высоких токов и простоты монтажа шин с готовыми отверстиями под болты. Шины выбираются

исходя из параметров трансформатора на вторичной обмотке:  
 $I_{em} = 875,8 \text{ A}$ ;  $U_{em} = 3300 \text{ В}$ . Выбираются силовые шины Linergy Evolution  
 компании Schneider Electric на ток 1250 А, профиль которых представлен на  
 рисунке 20. [26]

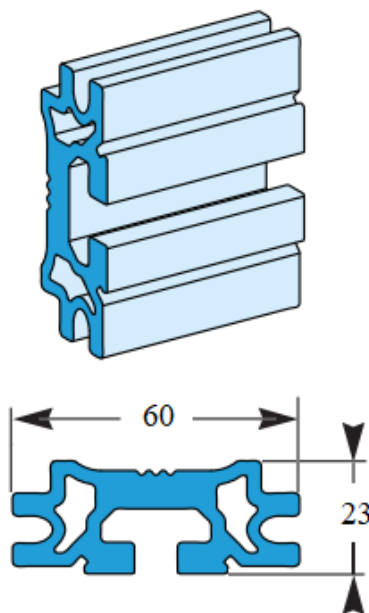


Рисунок 20 – Профиль силовой шины Linergy Evolution на ток 1250 А

При токах до 1600 [А] силовые шины устанавливаются в кабельном канале шириной 150 мм и глубиной 400 мм.

## 2.6 Определение расхода электроэнергии за цикл работы, среднецикловых значений КПД и коэффициента мощности электропривода

- Номинальный режим (*Примечание:* расчёт схемы замещения и основных характеристик двигателя приведен в разделе 2)

Полная мощность:

$$\Delta P_H = P_H \left( \frac{1}{\eta_H} - 1 \right) = 4000000 \cdot \left( \frac{1}{0,95} - 1 \right) = 210500 \text{ Вт}$$

Переменная составляющая потери мощности:

$$\Delta P_{V.H} = M_H (\omega_0 - \omega_H) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) = 4736 \cdot (858,702 - 844,534) \cdot \left(1 + \frac{0,038}{0,038}\right) = 135700 \text{ Вт}$$

Постоянная составляющая потери мощности:

$$\Delta P_{C.H} = \Delta P_H - \Delta P_{V.H} = 210500 - 135700 = 74790 \text{ Вт}$$

Коэффициент потерь мощности:

$$a = \frac{\Delta P_{C.H}}{\Delta P_{V.H}} = \frac{74790}{135700} = 0,551$$

- Активная энергия для максимальной скорости

Полезный расход энергии (механическая работа):

$$A_2 = M_C \cdot \omega_C \cdot t_C = 4736 \cdot 844,5 \cdot 3600 = 14400 \text{ МВт} \cdot \text{с},$$

где  $\omega_C$ ,  $t_C$  – соответственно угловая скорость и время режима работы электропривода.

Постоянная составляющая потери энергии:

$$\Delta A_C \approx \Delta P_{C.H} \cdot \left(\frac{\omega_C}{\omega_H}\right)^2 \cdot t_C = 74790 \cdot \left(\frac{844,534}{844,534}\right)^2 \cdot 3600 = 269,3 \text{ МВт} \cdot \text{с}$$

Приведенный фазный ток ротора в установившемся режиме:

$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S_H}\right)^2 + (X_{Kn})^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S_H \cdot X_m}\right)^2}} =$$

$$= \frac{1905}{\sqrt{\left(0,038 + \frac{0,038}{0,016}\right)^2 + (0,584)^2 + \left(\frac{0,038 \cdot 0,038}{0,016 \cdot 6,895}\right)^2}} = 776,1 \text{ А}$$

Переменная составляющая потери энергии:

$$\Delta A_V = 3 \cdot [I_0^2 \cdot R_1 + (I_2')^2 \cdot (\sigma \cdot R_1 + R_2')] \cdot t_C$$

где  $\sigma$  – поправочный коэффициент

$$\sigma = 1 + \frac{2 \cdot I_0 \cdot X_{Kn}}{U_1} = 1 + \frac{2 \cdot 249,402 \cdot 0,584}{1905} = 1,164$$

$$\Delta A_V = 3 \cdot [249,402^2 \cdot 0,038 + 776,102^2 \cdot (1,164 \cdot 0,038 + 0,038)] \cdot 3600 = 564,2 \text{ МВт} \cdot \text{с}.$$

Потребляемая из сети энергия:

$$A_1 = A_2 + \Delta A_C + \Delta A_V = 14400 \cdot 10^6 + 269,3 \cdot 10^6 + 564,2 \cdot 10^6 = 15230 \text{ МВт} \cdot \text{с}.$$

- Активная энергия для минимальной скорости

Полезный расход энергии (механическая работа):

$$A_2 = M_c \cdot \omega_c \cdot t_c = 1362 \cdot 422,3 \cdot 3600 = 2070 \text{ MBm} \cdot \text{c},$$

где  $\omega_c$ ,  $t_c$  – соответственно угловая скорость и время установившегося режима.

Постоянная составляющая потери энергии:

$$\Delta A_C \approx \Delta P_{CH} \cdot \left(\frac{\omega_c}{\omega_H}\right)^2 \cdot t_c = 74790 \cdot \left(\frac{422,3}{844,5}\right)^2 \cdot 3600 = 67,3 \text{ MBm} \cdot \text{c}$$

Приведенный фазный ток ротора в установившемся режиме:

$$I_2' = \frac{U'}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S_H}\right)^2 + (X_{kn} \cdot 0,1)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S_H \cdot X_m \cdot 0,1}\right)}} =$$

$$= \frac{499,5}{\sqrt{\left(0,038 + \frac{0,038}{0,016}\right)^2 + (0,584 \cdot 0,1)^2 + \left(\frac{0,038 \cdot 0,038}{0,016 \cdot 6,895 \cdot 0,1}\right)}} = 1562 \text{ A}$$

Переменная составляющая потери энергии:

$$\Delta A_V = 3 \cdot [I_0'^2 \cdot R_1 + (I_2')^2 \cdot (\sigma \cdot R_1 + R_2')] \cdot t_c$$

где  $\sigma$  – поправочный коэффициент

$$\sigma = 1 + \frac{2 \cdot I_0' \cdot X_{kn} \cdot f'}{U_1'} = 1 + \frac{2 \cdot 136,621 \cdot 0,584 \cdot 0,512}{499,5} = 1,164$$

$$\Delta A_V = 3 \cdot [136,621^2 \cdot 0,038 + 1562^2 \cdot (1,164 \cdot 0,038 + 0,038)] \cdot 3600 = 2174 \text{ MBm} \cdot \text{c}.$$

Потребляемая из сети энергия:

$$A_1 = A_2 + \Delta A_C + \Delta A_V = 2070 \cdot 10^6 + 67,3 \cdot 10^6 + 2174 \cdot 10^6 = 4311 \text{ MBm} \cdot \text{c}.$$

- Реактивная энергия

Потребление реактивной энергии за цикл:

$$\sum A_p = \sum_{i=1}^n 3[I_0'^2 \cdot (X_1 + X_m) + (I_2')^2 \cdot (X_1 + X_2)] \cdot t_{c,i} + 3[I_0'^2 \cdot (X_1 + X_m) \cdot f' + (I_2')^2 \cdot (X_1 + X_2) \cdot f'] =$$

$$= 17750 \text{ MB} \cdot \text{A}$$

- Энергетические показатели электропривода:

Энергетический (среднецикловой) к.п.д. электропривода:



$$\eta_s = \frac{\sum A_2}{\sum A_1} \cdot 100\% = \frac{14400 \cdot 10^6 + 2070 \cdot 10^6}{15230 \cdot 10^6 + 4311 \cdot 10^6} \cdot 100\% = 84,3\%.$$

где  $\sum A_2$  – суммарный расход полезной энергии за цикл;

$\sum A_1$  – суммарное потребление энергии из сети за цикл;

Энергетический (среднецикловой) коэффициент мощности электропривода

$$\cos \varphi_s = \frac{\sum A_1}{\sqrt{(\sum A_1)^2 + (\sum A_p)^2}} = \frac{15230 \cdot 10^6 + 4311 \cdot 10^6}{\sqrt{(15230 \cdot 10^6 + 4311 \cdot 10^6)^2 + (17750 \cdot 10^6)^2}} = 0,74.$$

## 2.7 Оценка надёжности электропривода

Газокомпрессорная станция является потребителем I - категории по надёжности электроснабжения и надёжности всех узлов газоперекачивающих агрегатов [9]. Это говорит о том, что данный потребитель должен, всегда стабильно находится в работе без сбоев в системе, а если таковые случаются, то не прекращать перекачивание газа, подключая резервные источники питания или резервные ГПА. Т.е. КС должна работать в безотказном режиме.

Безотказность - это такое свойство электрического привода или его элементов, которое позволяет сохранять работоспособность в течение некоторого времени работы (наработки) [16]. Электрический привод – это система, состоящая из большого количества элементов, которые в свою очередь можно разделить на основные элементы. Отказ любого, из которых приведет уже к отказу электрического привода (соединение таких элементов в систему в теории надёжности называют логически последовательным или основным) и дополнительных элементов, в том или ином варианте используемых в качестве резервных [16].

Расчет оценки надёжности произведем на основании коэффициентов, полученных за счет анализа статистических данных выхода из строя различных

узлов, входящих в системы электроприводов. На рисунке 221 представлено разделение элементов на блоки.

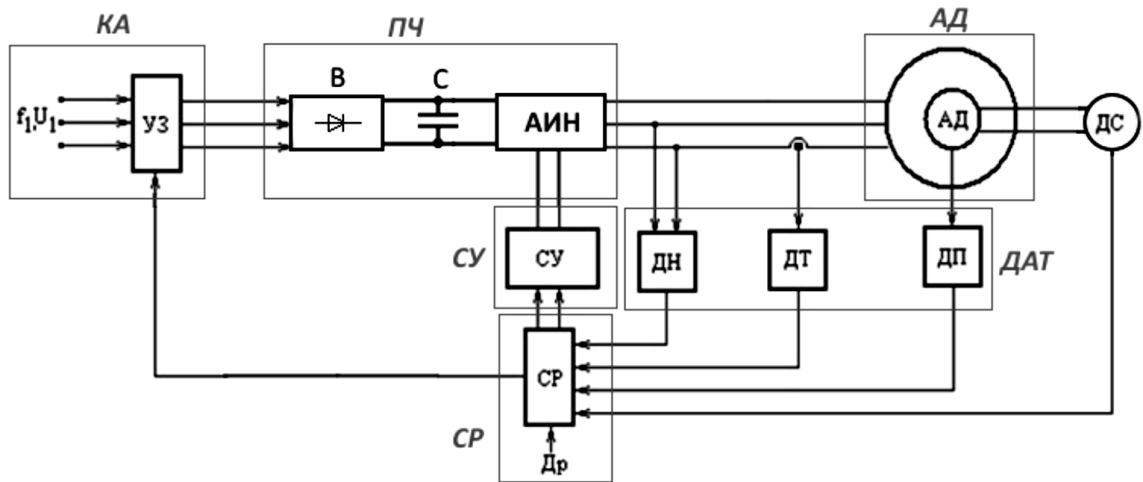


Рисунок 21 – Функциональная схема привода компрессора с обозначениями узлов:

Пояснения к схеме (рисунок 21):

УЗ – узел защиты; В – выпрямитель; С – фильтр; АИН – автономный инвертор напряжения; СУ – система управления на выпрямителе и инверторе; СР – система регулирования; АД – асинхронный двигатель; ДН – датчик напряжения; ДД – датчик давления; ДП – датчик потока; ДТ – датчик тока; УВВ – устройство ввода/вывода; ПУ – пульт управления; МК – микроконтроллер.

### Расчет эффективности отдельных узлов

#### Узел КА (рисунок 222)

Расчет эффективности отдельных узлов электропривода произведем на основании методики [16]. Так как элементы соединены последовательно, эквивалентный элемент будет равен произведению всех в него состоящих.

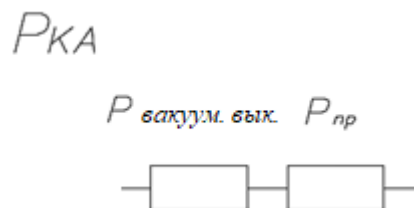


Рисунок 22 – Узел коммутационной аппаратуры

где  $P_{ка}$  – вероятность безотказной работы коммутационной аппаратуры;

$P_{\text{вакуум.вык.}} = 0,989$  – вакуумная коммутационная аппаратура;

$P_{\text{пр}} = 0,994$  – проводники (шинопроводы).

Отсюда:

$$P_{\text{ка}} = P_{\text{вакуум.вык.}} \cdot P_{\text{пр}} = 0,989 \cdot 0,994 = 0,983.$$

*Преобразователь частоты (рисунок 223)*

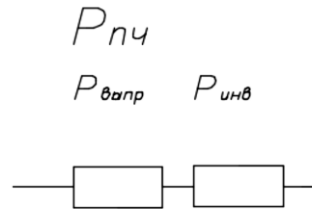


Рисунок 23 – Узел ПЧ

$P_{\text{выпр}} = 0,980$  – выпрямитель;

$P_{\text{инв}} = 0,978$  – инвертор.

$$P_{\text{пч}} = P_{\text{выпр}} \cdot P_{\text{инв}} = 0,980 \cdot 0,978 = 0,958$$

*Система управления*

$P_{\text{су}} = 0,981$ ;

*Асинхронный двигатель*

$P_{\text{ад}} = 0,979$ ;

*Датчики*

$P_{\text{дат}} = 0,992$ ;

В результате рассчитывается полная вероятность безотказной работы системы:

$$P = P_{\text{ка}} \cdot P_{\text{пч}} \cdot P_{\text{су}} \cdot P_{\text{ад}} \cdot P_{\text{дат}} = 0,983 \cdot 0,958 \cdot 0,981 \cdot 0,979 \cdot 0,992 = 0,897.$$

Однако окончательное представление о надежности спроектированного электропривода дают статистические данные, получаемые в процессе эксплуатации опытных партий. Также стоит отметить, что вероятность безотказной работы сложной и многоэлементной данной системы снижается по сравнению с простой и общепромышленной системой электроприводов. [27]

## Вывод

Произведен расчет и подтверждение ранее выбранного асинхронного электродвигателя фирмы Siemens типа 1TA2832-4AU01-Z, по данным электрического двигателя подобрано преобразовательное устройство, а также метод управления, рассчитаны автономный инвертор напряжения (АИН) и выпрямитель (В), выбрана аппаратура управления и защиты ГПА.

### 3 Расчёт статических и динамических характеристик для разомкнутой системы регулируемого электропривода

#### 3.1 Расчёт естественных характеристик $\omega=f(I)$ , $\omega=f(M)$ системы регулируемого электропривода

Расчёт и построение характеристик проводим по методикам [16-19, 28].

Синхронная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 8200}{30} = 858,267 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_{\text{дв.ном}} = (1 - s_H) \cdot n_0 = (1 - 0,016) \cdot 8200 = 8069 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

или

$$\omega_{\text{дв.ном}} = (1 - s_H) \cdot \omega_0 = (1 - 0,016) \cdot 858,267 = 844,534 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.ном}} = \frac{P_{\text{дв.ном}}}{\omega_{\text{дв.ном}}} = \frac{4\,000\,000}{844,534} = 4736 \text{ Нм}.$$

Номинальное фазное напряжение двигателя:

$$U_{1\phi} = \frac{U_{1л}}{\sqrt{3}} = \frac{3300}{\sqrt{3}} = 1905 \text{ В}.$$

Для того, чтобы произвести расчет статических и динамических характеристик асинхронного электродвигателя, необходимо найти все параметры схемы замещения. Т – образная схема замещения АД для одной фазы приведена на рисунке 224.

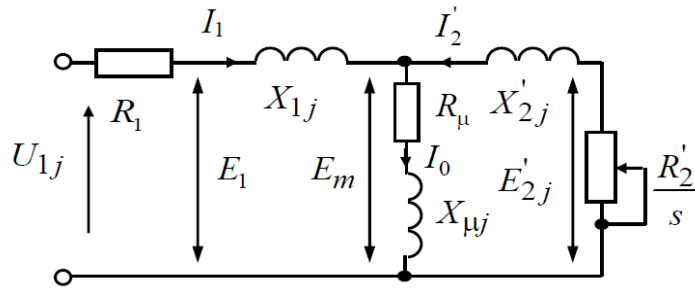


Рисунок 24 – Схема замещения асинхронного двигателя

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - (p_* \cdot I_{1H} \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H))^2}{1 - (p_* \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H))^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{761,945^2 - (0,75 \cdot 995,608 \cdot (1 - 0,016) / (1 - 0,75 \cdot 0,016))^2}{1 - (0,75 \cdot (1 - 0,016) / (1 - 0,75 \cdot 0,016))^2}} = 249,402 \text{ А,}$$

где  $I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{4000000}{3 \cdot 1905 \cdot 0,74 \cdot 0,95} = 995,608 \text{ А}$  – номинальный ток статора

двигателя;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0,75 \cdot 4000000}{3 \cdot 1905 \cdot 0,725 \cdot 0,95} = 761,945 \text{ А}$$
 – ток статора двигателя при

частичной нагрузке;

$$\eta_{p_*} = \eta_H = 0,95$$
 – КПД при частичной нагрузке;

$$\cos \varphi_{p_*} = 0,98 \cdot \cos \varphi_H = 0,98 \cdot 0,74 = 0,725$$
 – коэффициент мощности при частичной

нагрузке;

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

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения [19]. В первом приближении принимаем  $\beta=1$  (коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора):

$$s_K = s_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,016 \cdot \frac{2,1 + \sqrt{2,1^2 - (1 - 2 \cdot 0,016 \cdot 1 \cdot (2,1 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,016 \cdot 1 \cdot (2,1 - 1)} = 0,066 \text{ о.е.}$$

Далее определим ряд промежуточных коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{249,402}{2 \cdot 5,5 \cdot 995,608} = 1,023;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 1905^2 \cdot (1 - 0,016)}{2 \cdot 1,023 \cdot 2,1 \cdot 4000000} = 0,623.$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_K}\right) \cdot C_1} = \frac{0,623}{\left(1 + \frac{1}{0,066}\right) \cdot 1,023} = 0,038 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статорной обмотки:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,023 \cdot 0,038 \cdot 1 = 0,038 \text{ Ом.}$$

Определяем параметр  $\gamma$ , позволяющий найти индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_K^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,066^2} - 1^2} = 15,209.$$

Тогда сопротивление короткого замыкания:

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 15,209 \cdot 1,023 \cdot 0,038 = 0,584 \text{ Ом.}$$

Для того, чтобы выделить из индуктивного сопротивления короткого замыкания сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, необходимо воспользоваться соотношениями, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X'_{2\sigma} = \frac{0,58 \cdot X_{KH}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 0,584}{1,023} = 0,331 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 0,584 = 0,245 \text{ Ом.}$$

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

$$E_m = \sqrt{\left(U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_H - R_1 \cdot I_{1H}\right)^2 + \left(U_{1\phi} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} - X_{1H} \cdot I_{1H}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{(1905 \cdot 0,74 - 0,038 \cdot 995,608)^2 + (1905 \cdot \sqrt{1 - 0,74^2} - 0,245 \cdot 995,608)^2} = 1720 \text{ В.}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания определится как:

$$X_{\mu\text{н}} = \frac{E_m}{I_0} = \frac{1720}{249,402} = 6,895 \text{ Ом.}$$

Индуктивность рассеяния статорной обмотки:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{0,245}{2 \cdot 3,14 \cdot 136,7} = 2,855 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Индуктивность рассеяния роторной обмотки, приведенной к статорной:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{0,331}{2 \cdot 3,14 \cdot 136,7} = 3,855 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Индуктивность ветви намагничивания:

$$L_{\mu\text{н}} = \frac{X_{\mu\text{н}}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{6,895}{2 \cdot 3,14 \cdot 136,7} = 8,027 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Для построения естественной механической характеристики двигателя определяем критический момент электрической машины в двигательном режиме:

$$M_{\text{к}} = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot C_1 \cdot \left[ R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 1905^2}{2 \cdot 858,267 \cdot 1,023 \cdot \left[ 0,038 + \sqrt{0,038^2 + 0,584^2} \right]} = 9941 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Задаваясь диапазоном скольжения от 1 до 0, строим механическую характеристику асинхронного двигателя по формуле Клосса:

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_{\text{к}} \cdot (1 + a \cdot s_{\text{к}})}{\frac{s_{\text{к}}}{s} + \frac{s}{s_{\text{к}}} + 2 \cdot a \cdot s_{\text{к}}},$$

где  $a = \frac{R_1}{R'_2} = \frac{0,038}{0,038} = 1,023$ .

Значения по оси скорости рассчитываются по выражению:

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



Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя представлена на рисунке 25.

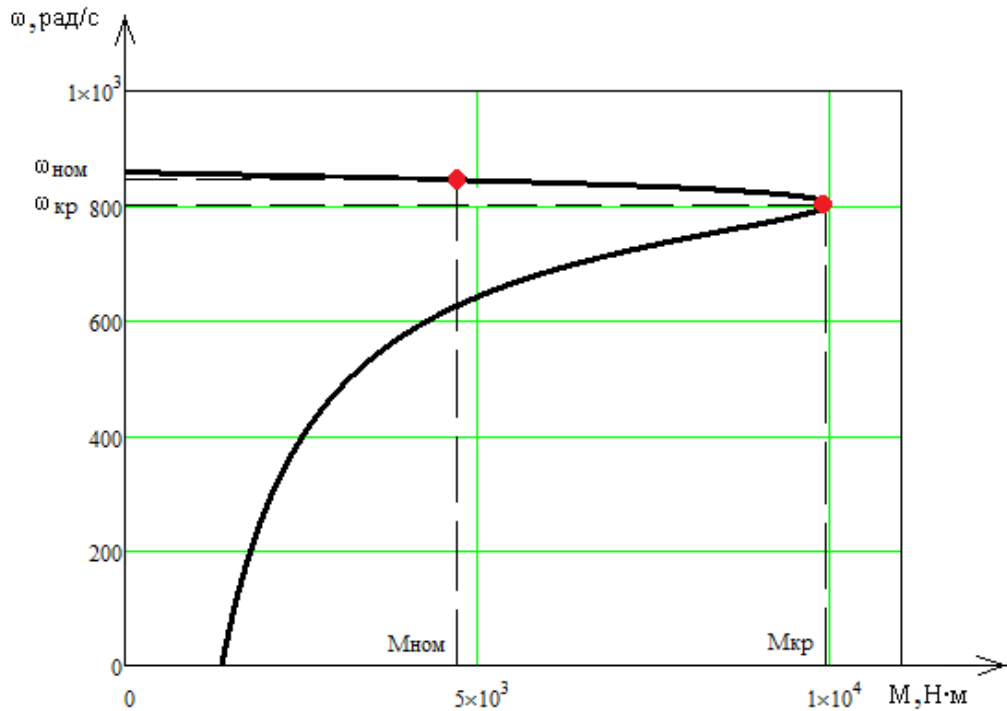


Рисунок 25 – Естественная механическая характеристика двигателя

Электромеханическая характеристика асинхронного двигателя представляет собой зависимость тока статора от скорости. Полагая ток намагничивания  $I_0$  реактивным ( $I_{0A}=0$ ), ток статора  $I_1$  через приведенный ток ротора можно найти по формуле:

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

где

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left( R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{KH}^2}};$$

$$\sin \varphi_2(\omega) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left( R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{KH}^2}}.$$

Задаваясь диапазоном изменения скорости от 0 до  $\omega_0$ , строим электромеханическую характеристику асинхронного двигателя по формулам для токов обмоток статора и ротора.

Естественные электромеханические характеристики двигателя приведены на рисунке 26.

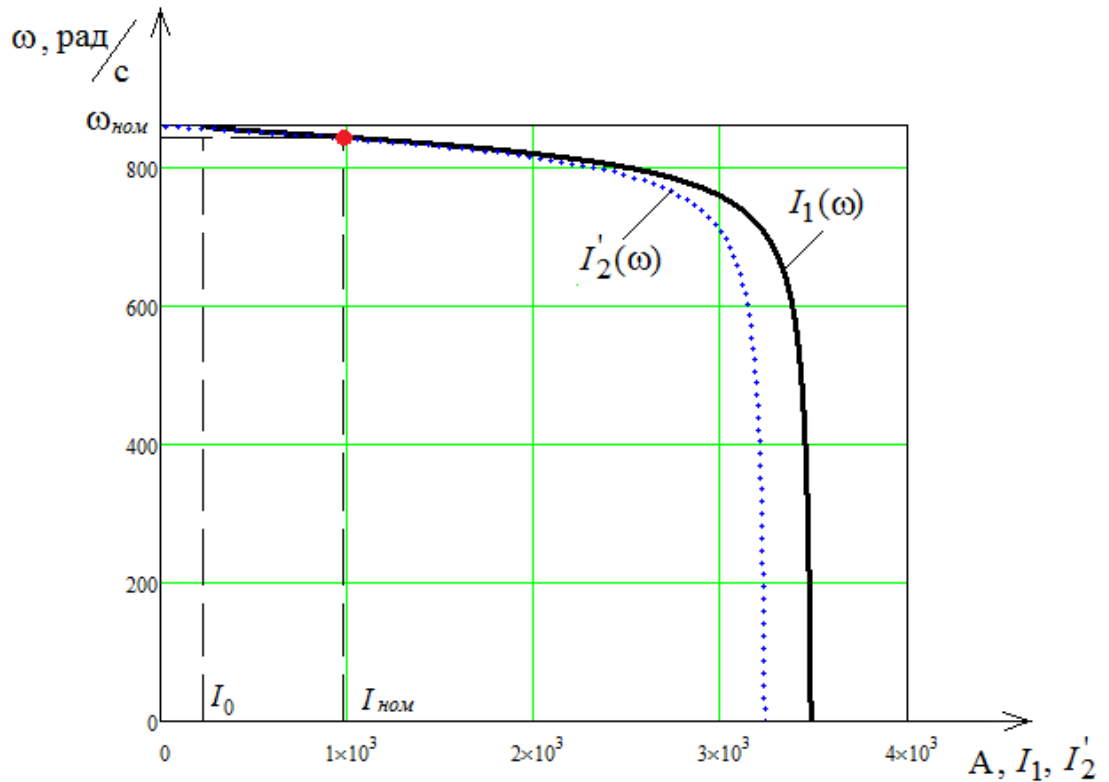


Рисунок 26 – Естественные электромеханические характеристики двигателя

### 3.2 Определение интервала частот инвертора

Максимальная скорость вращения электропривода равна номинальной скорости двигателя:

$$\omega_{\text{эп.макс}} = \omega_{\text{дв.ном}} = 844,534 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Минимальная скорость вращения электропривода:

$$\omega_{\text{эп.мин}} = \frac{\omega_{\text{эп.макс}}}{2} = \frac{844,534}{2} = 422,267 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Частоты инвертора, которые необходимы для обеспечения требуемых скоростей вращения, находим, решая совместно уравнения механической характеристики двигателя и нагрузки:

$$\frac{3 \cdot [U_1(f_1)]^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \cdot s \cdot \left[ \left( X_{кн} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}} \right)^2 \right]} = M_c(\omega)$$

где

$$U_1(f_1) = U_{1фн} \cdot \left( \frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 = 1905 \cdot \left( \frac{f_1}{136,7} \right)^2 \text{ – вольт-частотная характеристика при законе}$$

управления  $U_1/f_1^2 = \text{const}$ ;

$$M_c(\omega) = 0,05 \cdot M_H + 0,95 \cdot M_H \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_H} \right)^2 = 0,05 \cdot 4736 + 0,95 \cdot 4736 \cdot \left( \frac{\omega}{298,3} \right)^2 = 236,817 + 0,0063 \cdot \omega^2.$$

– механическая характеристика нагрузки.

Используем для определения частот инвертора программную среду MathCAD.

Для максимальной скорости:

Принимаем максимальную частоту инвертора:  $f_{и.макс} = 136,57 \text{ Гц}$ .

Для минимальной скорости:

Принимаем частоту инвертора:  $f_{и.мин} = 70 \text{ Гц}$ .

### 3.3 Расчет искусственных статических характеристик 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 в интервале от 70 до 136 Гц рассчитываются по выражениям:

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

где

$$U_1(f_1) = U_{1фн} \cdot \left( \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 = 1905 \cdot \left( \frac{f_1}{136,7} \right)^2; \quad \omega(s, f_1) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot (1-s).$$

По результатам расчета на рисунке 27 строим семейство механических характеристик  $\omega(M)$  системы преобразователь – двигатель при изменении частоты.

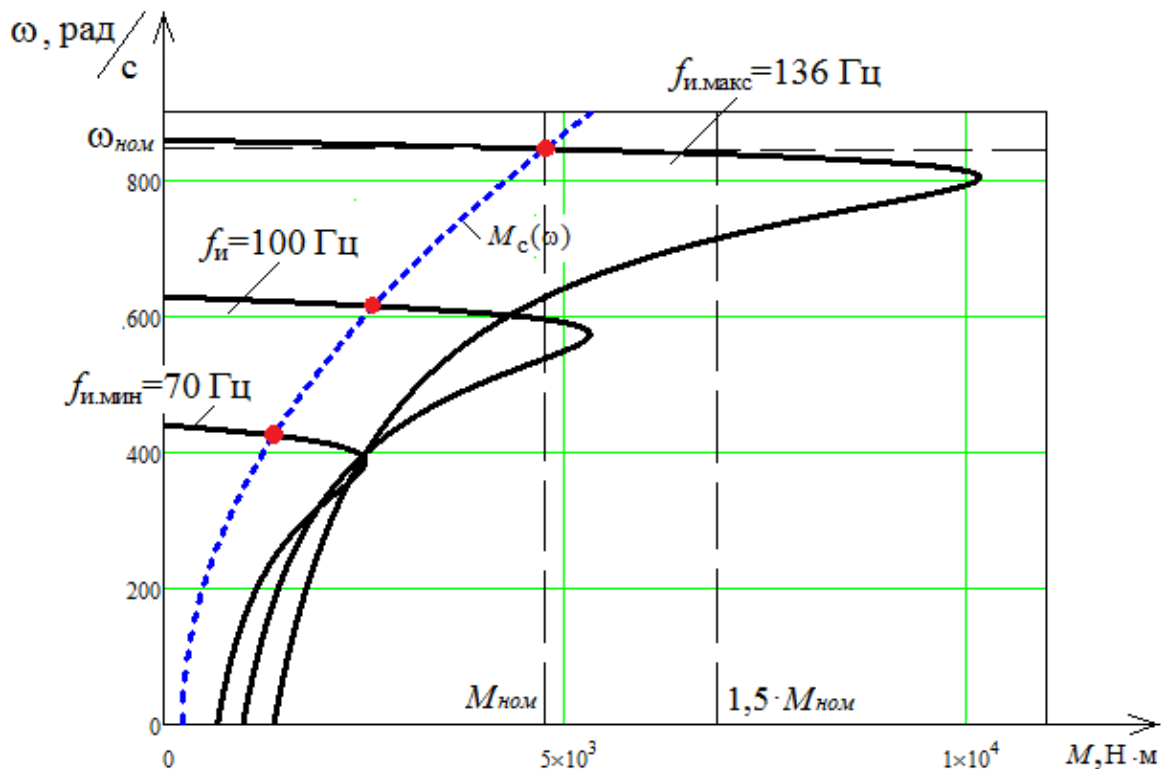


Рисунок 27 – Механические характеристики  $\omega(M)$  системы преобразователь – двигатель при законе регулирования  $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Электромеханические характеристики  $\omega(I_1)$  разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель рассчитываются для выбранных ранее значений частоты по выражениям:

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

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

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

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

По результатам расчета на рисунке 28 построено семейство электромеханических характеристик  $\omega(I_1)$  системы преобразователь-двигатель.

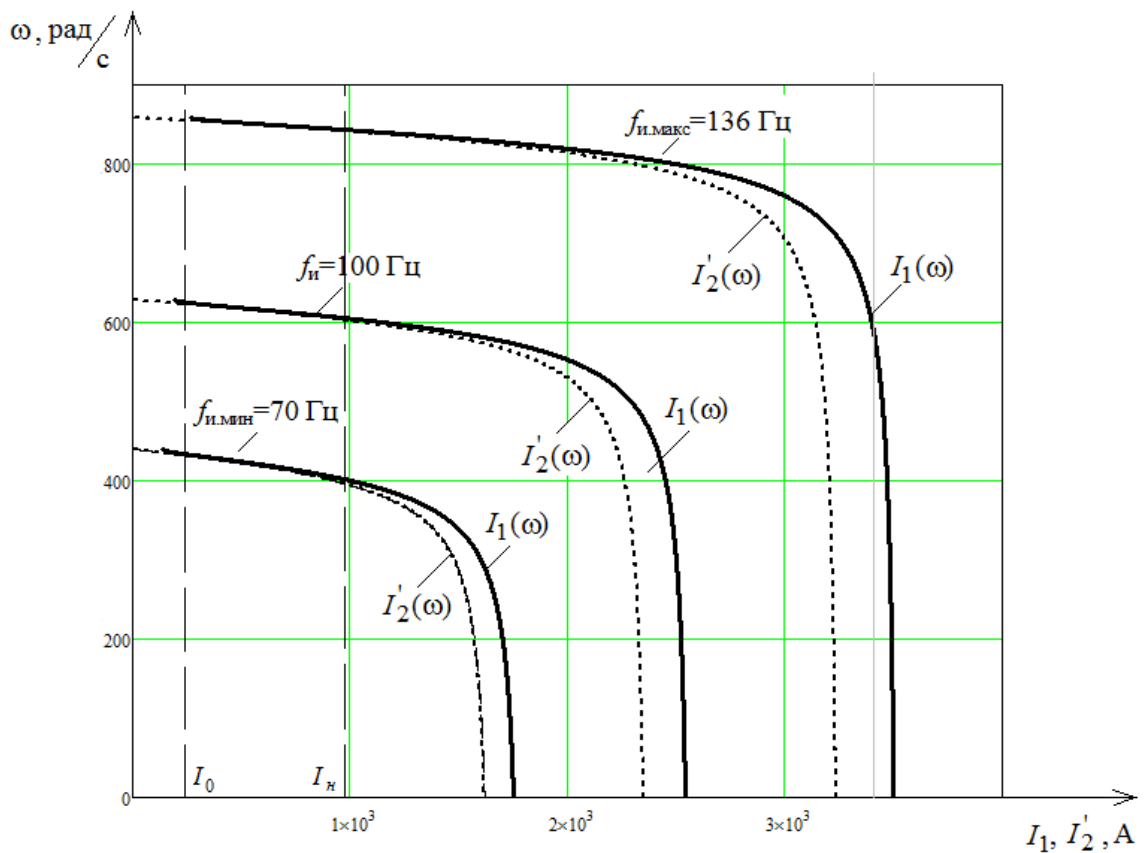


Рисунок 28 – Электромеханические характеристики электропривода  $\omega(I_1)$

при законе регулирования  $U_1/f_1^2 = \text{const}$

## Вывод

Были рассчитаны и построены естественные, регулировочные механические, электромеханические характеристики при различных частотах в диапазоне регулирования. Данные характеристики соответствуют корректной работе электродвигателя на номинальной нагрузке при наименьшей частоте тока, питающего статор. Это значит, что не требуется IR-компенсации. Из рисунка 28 видно, что с каждой последующей ступенью тока статора и ротора находятся в пределах допустимых значений.

#### 4 Математическое описание асинхронного двигателя и силового канала.

##### Моделирование ГПА в программном пакете Matlab

##### 4.1 Структура силового канала

Преобразователи частоты для электроприводов переменного тока при необходимости преобразуют переменное напряжение питающей сети в переменное трехфазное напряжение с регулируемой частотой, напряжением и током (рисунок 29).

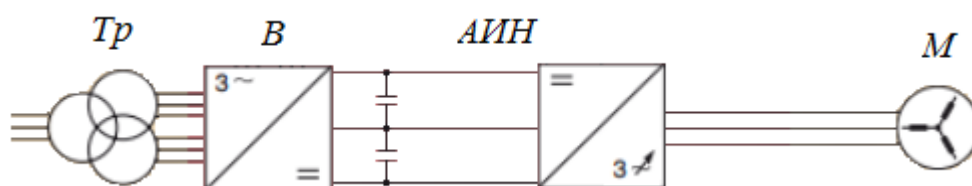


Рисунок 29 – Блок-схема силовой части АИН: Tr – трансформатор; В – выпрямитель; АИН – автономный инвертор напряжения; М – асинхронный двигатель

В настоящее время в преобразователи частоты включаются либо пассивный выпрямитель, либо активный выпрямитель с возможностью рекуперации энергии в сеть. В качестве ключей используются стандартные элементы: силовые транзисторы, запираемые тиристоры, транзисторы на отдельной плате [9, 20].

Современное состояние рынка преобразователей частоты свидетельствует о том, что с появлением новейших конструкций и материалов полупроводниковых силовых элементов практически все производители данной электроники освоили серийный выпуск универсальных комплектных преобразователей частоты на базе АИН с активным выпрямителем. В связи с инвариантностью предложений производителей и активное позиционирование данного товара рассмотрим более подробно данную структуру преобразователя частоты (рисунок 30) [9, 22].

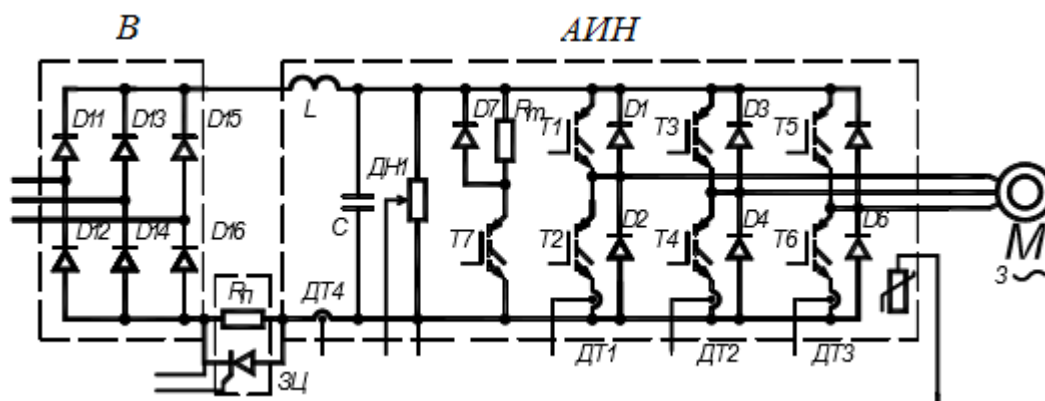


Рисунок 30 – Схема силовой части АИН (без изображения резерва): В – выпрямитель; АИН – автономный инвертор напряжения; М – асинхронный двигатель

АИН в звене постоянного тока содержит индуктивно-ёмкостный фильтр либо только ёмкостной. В структуре имеет место однозначная зависимость напряжения в звене постоянного тока от напряжения на нагрузке, и поэтому он является источником напряжения. Благодаря наличию емкости, при работе инвертора как источника напряжения на активно-индуктивную нагрузку, каковым является асинхронный двигатель, обеспечивается обмен реактивной энергией между асинхронным двигателем и звеном постоянного тока. Кроме конденсатора для этой цели необходимы обратные диоды D1–D6, включенные параллельно основным ключам T1–T6. Через эти диоды протекает ток в моменты возврата реактивной энергии от двигателя в емкость. Ток в цепи на участке между инвертором и емкостью при низких значениях коэффициента мощности нагрузки может менять направление. Форма напряжения на выходе инвертора определяется порядком переключения ключей T1–T6. Индуктивно-ёмкостной фильтр обеспечивает сглаживание пульсаций напряжения с выхода выпрямителя.

Напряжение на выходе инвертора может регулироваться двумя способами:

- Изменением напряжения  $U_d$  в звене постоянного тока. В этом случае используется управляемый выпрямитель, а инвертор выполняет функции коммутатора фаз, формируя требуемую частоту, такой преобразователь частоты называется АИН с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ);



– Широтно-импульсным регулированием напряжения (как в нашем случае) в инверторе, которое осуществляется модуляцией напряжения несущей частоты сигналом основной частоты. Такие преобразователь частоты называются АИН с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). В них, как правило, для повышения коэффициента полезного действия системы выпрямитель является неуправляемым. В этом случае в АИН отсутствует рекуперация энергии в питающую сеть.

#### 4.1.1 Математическое описание силового канала

Математическое описание силового канала проводим на основании источника литературы [29].

В связи с разностью электрических переходных процессов в силовом канале и электромеханических переходных процессов в асинхронном двигателе заменяем реальную трехфазную систему напряжений на фиксированную имитационную двухфазную систему с законом частотного регулирования  $U/f^2$ .

$$\begin{cases} U_A(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t) \\ U_B(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t - 120^\circ) \\ U_C(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t + 120^\circ) \end{cases} \implies \begin{cases} U_x(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t) \\ U_y(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \cos(314 \cdot t) \end{cases}; \quad (1)$$

#### 4.1.2 Математическое описание асинхронной машины

Согласно источнику литературы [29] получили уравнение электрического равновесия во вращающейся системе координат:

$$\bar{U}_{sk} = r\bar{i}_{sk} + \frac{d\bar{\psi}_{sk}}{dt} + j\omega_r \bar{\psi}_{sk}; \quad (2)$$

Целесообразно использование безразмерной формы записи системы уравнений. Это упрощает структуру уравнений и сокращает затраты времени на моделирование.

Обобщенная система уравнений для описания асинхронной машины имеет вид (следует предположить, что  $U_R = 0$ ):

$$\begin{aligned}
 \bar{U}_S &= r_S \bar{i}_S + \frac{d\bar{\Psi}_S}{dt} + j\alpha_k \bar{\Psi}_S; \\
 0 &= r_R \bar{i}_R + \frac{d\bar{\Psi}_R}{dt} + j(\alpha_k - p\upsilon_m) \bar{\Psi}_R; \\
 \bar{\Psi}_S &= x_S \bar{i}_S + x_m \bar{i}_R; \\
 \bar{\Psi}_R &= x_R \bar{i}_R + x_m \bar{i}_S; \\
 m &= k \text{Mod}(\bar{\Psi}_i; \bar{i}_k); \\
 \bar{T}_m \frac{d\upsilon}{dt} &= m - m_H.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Методика преобразований уравнений общеизвестна и представлена в литературе [29]. После преобразований уравнений равновесия для имитационной модели АД в системе  $x, y$  можно представить в виде следующих выражений:

$$\begin{aligned}
 i_{Sx} &= (u_{Sx} + x'_S \alpha_k i_{Sy} + \frac{k_R}{T_R} \Psi_{Rx} + p\upsilon_m k_R \Psi_{Ry}) \frac{1/r}{(1+T'_s s)}; \\
 i_{Sy} &= (u_{Sy} + x'_S \alpha_k i_{Sx} + \frac{k_R}{T_R} \Psi_{Ry} + p\upsilon_m k_R \Psi_{Rx}) \frac{1/r}{(1+T'_s s)}; \\
 \Psi_{Rx} &= (k_R r_R i_{Sx} + (\alpha_k - p\upsilon_m) \Psi_{Ry}) \frac{T_R}{(1+T_R s)}; \\
 \Psi_{Ry} &= (k_R r_R i_{Sy} + (\alpha_k - p\upsilon_m) \Psi_{Rx}) \frac{T_R}{(1+T_R s)}; \\
 m &= k_R (\Psi_{Rx} i_{Sy} - \Psi_{Ry} i_{Sx}); \\
 \upsilon_m &= \frac{1}{s} \left( \frac{1}{T_m} \right) (m - m_H); \\
 \gamma &= \frac{1}{s} (\alpha_k).
 \end{aligned} \tag{4}$$

В качестве основных базовых величин выбираются амплитудные номинальные значения фазного напряжения и тока, а также номинальное значение угловой частоты, согласно методике [29]:

$$U_b = \sqrt{2}U_{\phi H}, I_b = \sqrt{2}I_H, \omega_b = \omega_H = 2\pi f_H. \quad (5)$$

На основе уравнений (4) определяются базовые значения всех переменных и коэффициентов, входящих в уравнение, а также базового времени:

$$R_b = \frac{U_b}{I_b}, L_b = \frac{U_b}{\omega_b I_b}, \psi_b = \frac{U_b}{\omega_b}, M_b = \frac{3}{2}P \frac{U_b I_b}{\omega_b}, t_b = \frac{1}{\omega_b}. \quad (6)$$

Базовые параметры двигателя сведены в таблицу 12.

Таблица 12 – Базовые параметры АД типа 1TA2832-4AU01-Z фирмы Siemens

Параметр	$U_b, B$	$I_b, A$	$M_b, H \cdot m$	$m_H, \text{отн.ед}$	$\omega_b, 1/c$	$t_b, c$
Величина	2694,1	1408	13255,5	0,75	858,5	0,0012

Коэффициенты модели рассчитываем по следующим выражениям, их численные значения приведены в таблице 13:

$$r_S = \frac{R_S}{R_b}, r_R = \frac{R_R}{R_b}, x_S = \frac{\omega_b L_S}{R_b}, x_R = \frac{\omega_b L_R}{R_b}, x_m = \frac{\omega_b L_m}{R_b}, \bar{T}_m = \frac{J \omega_b^2}{M_b}, \quad (7)$$

$$r = r_S + k_R^2 r_R, k_R = \frac{x_m}{x_R}, x'_S = x_S - \frac{x_m^2}{x_R}, \bar{T}_R = \frac{x_R}{r_R}, T'_S = \frac{x'_S}{r}.$$

Таблица 13 – Параметры АД типа 1TA2832-4AU01-Z фирмы Siemens в отн. ед.

Параметр	$r_R$	$r$	$k_r$	$x'_S$	$\bar{T}_R$	$T'_S$	$\bar{T}_m$	$M_H, H \cdot m$
Величина	0,02	0,038	0,95	0,311	190	8,18	1167,6	4736

#### 4.2 Имитационная модель силового канала электропривода

Согласно методике [29] имитационная модель силового канала электропривода (рисунок 30) представлена на рисунке 31.

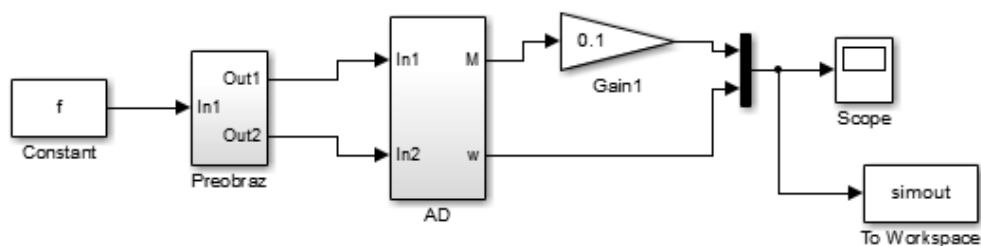


Рисунок 31 – Имитационная модель силового канала электропривода

Схема набора имитационной модели двухфазного преобразователя частоты, представленного подсистемой «Preobraz» представлена на рисунке 32.

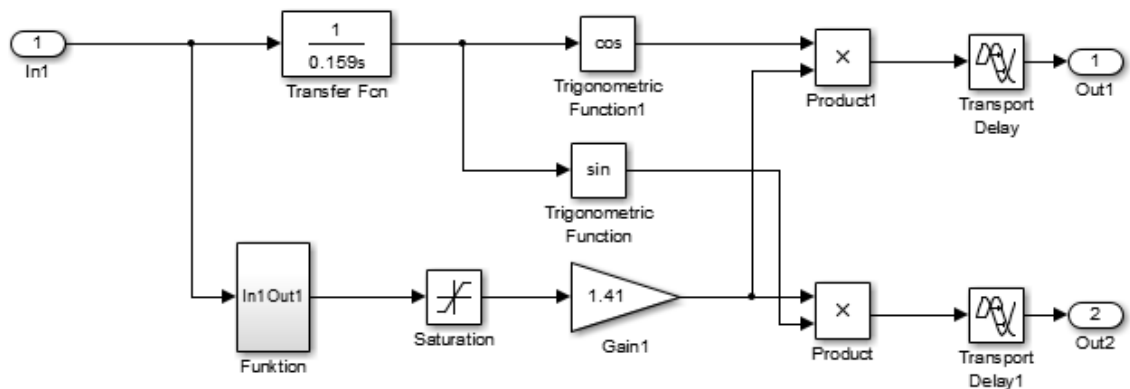


Рисунок 32 – Схема набора имитационной модели двухфазного преобразователя частоты

Нелинейная зависимость момента нагрузки от скорости двигателя рассчитывается по выражению:

$$M_c(\omega) = 0,05 \cdot M_H + 0,95 \cdot M_H \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_H} \right)^2 =$$

$$= 0,05 \cdot 4736 + 0,95 \cdot 4736 \cdot \left( \frac{\omega}{298,3} \right)^2 = 236,817 + 0,0063 \cdot \omega^2.$$

Подсистема «Funktion» реализует математическую функцию

$$U_1(f_1) = U_{1\phi H} \cdot \frac{f_1^2}{f_{1H}^2} = 1905 \cdot \frac{f_1^2}{136,7^2} = 0,102 \cdot f_1^2$$

при законе регулирования  $U_1/f_1^2 = \text{const}$  [3].



Рисунок 34 – Подсистема «Funktion» при законе регулирования  $U_1/f_1^2 = \text{const}$

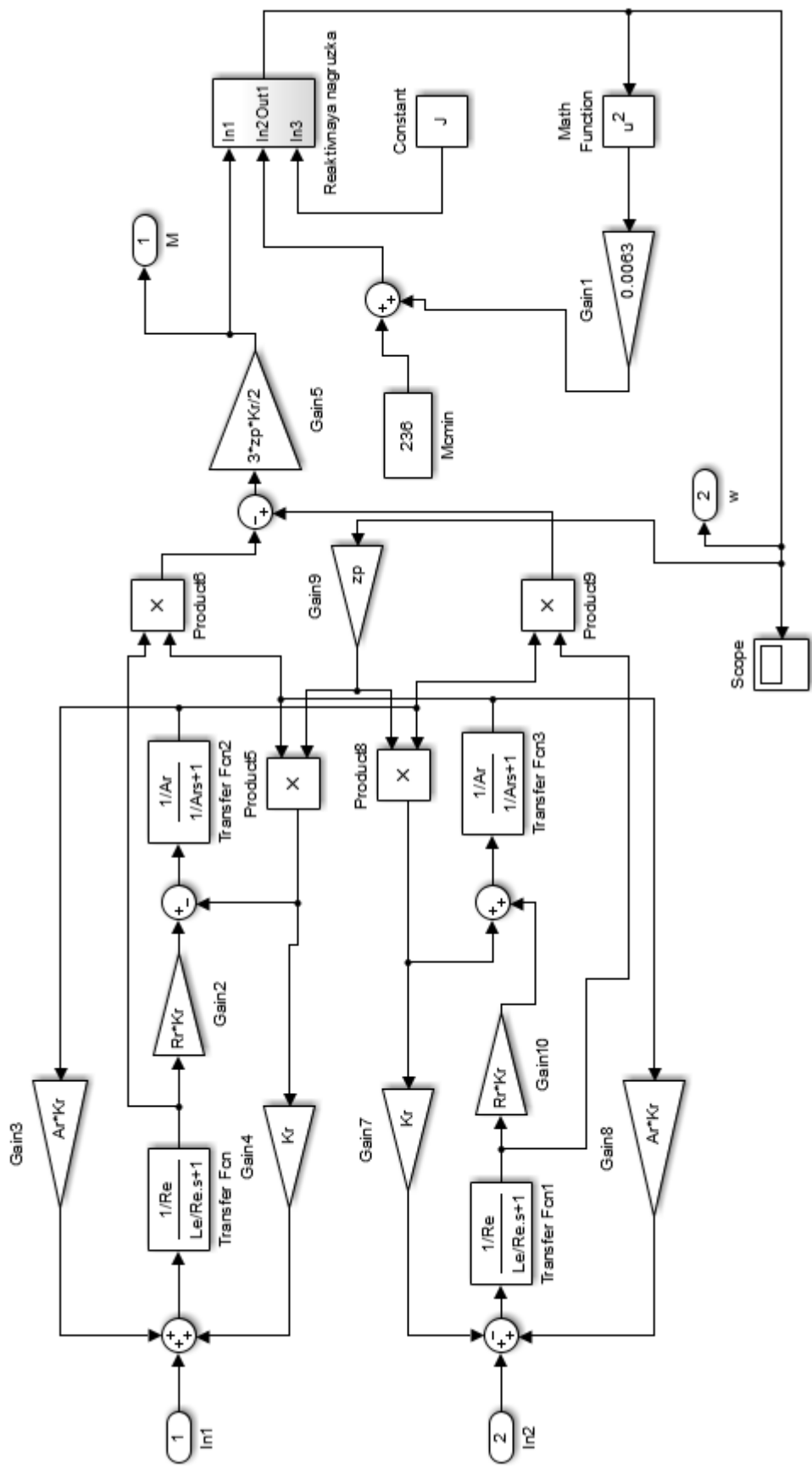


Рисунок 33 – Имитационная модель асинхронного двигателя

### 4.3 Исследование переходных процессов в асинхронном электроприводе с законом регулирования скорости $U/f^2=\text{const}$

На рисунках 35–37 представлены переходные процессы скорости вала и электромагнитного момента асинхронного электропривода при пуске на частоты  $f=136,7$  Гц;  $f=100$  Гц;  $f=70$  Гц.

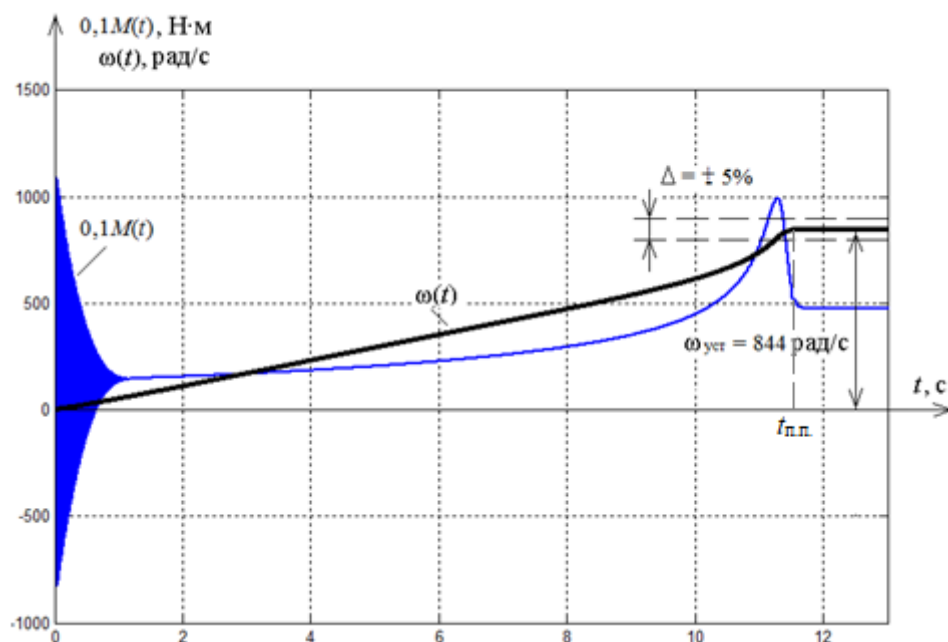


Рисунок 35 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости  $U/f^2=\text{const}$  при значении частоты  $f=136,7$  Гц

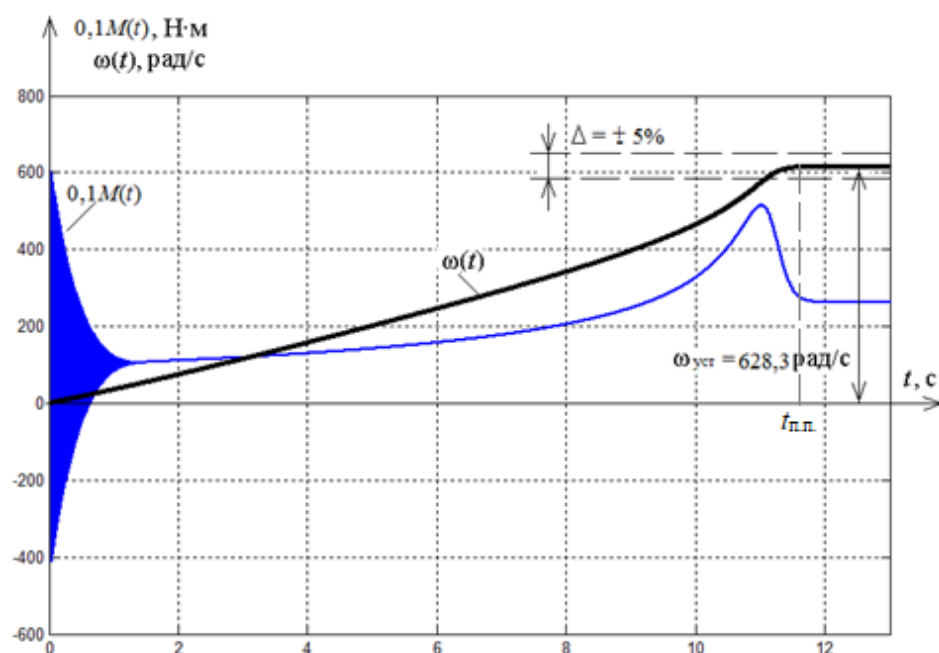


Рисунок 36 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости  $U/f^2=\text{const}$  при значении частоты  $f=100$  Гц

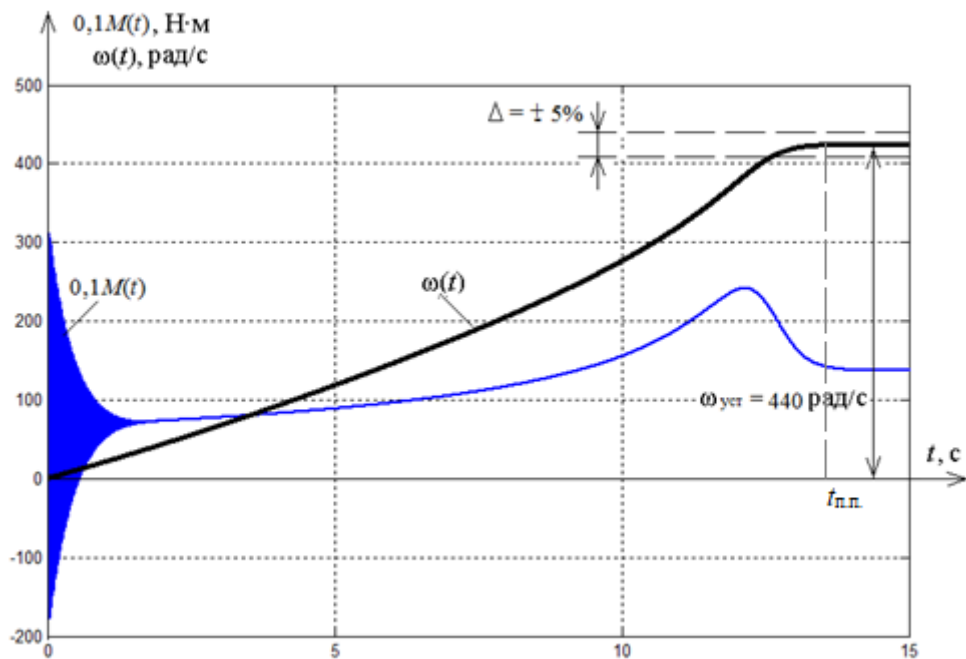


Рисунок 37 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости  $U/f^2 = \text{const}$  при значении частоты  $f = 70$  Гц

#### 4.4 Исследование переходных процессов давления газа при пуске газоперекачивающих агрегатов

Исследование переходных процессов давления газа при пуске ГПА проводим на основании методик из литературы [27, 30].

Для того чтобы определить давление на выходе ЭГПА необходимо смоделировать нагнетатель. Для этого воспользуемся формулой, которая позволяет определить давление газа на выходе нагнетателя в функции скорости

$$P_{\text{вых}} = \left[ 1 + \left( \frac{n}{n_0} \right)^2 \cdot \frac{Z \cdot R \cdot T_{\text{вых}}}{Z \cdot R \cdot T_{\text{ex}}} \cdot (\varepsilon_0^\alpha - 1) \right] \cdot P_{\text{ex}}, \quad (8)$$

где  $n$  – частота вращения нагнетателя ГПА, об/мин;

$n_0$  – номинальная частота вращения нагнетателя ГПА, об/мин;

$\varepsilon_0$  – приведенная степень сжатия;

$R$  – газовая постоянная;

$T_{\text{вых}}$  – температура газа на выходе из нагнетателя, °C ;

$T_{\text{вх}}$  – температура газа на входе в нагнетатель, °C ;

$P_{\text{вых}}$  – давление на выходе из нагнетателя, МПа;

$\alpha$  – политропный коэффициент полезного действия.

Учитывая изменение температуры газ при компримировании, выражение в формуле (8)  $\frac{Z \cdot R \cdot T_{\text{вых}}}{Z \cdot R \cdot T_{\text{вх}}}$  примем равным 1,2. Получим:

$$P_{\text{вых}} = \left[ 1 + \left( \frac{n}{n_0} \right)^2 \cdot 1,2 \cdot (\varepsilon_0^\alpha - 1) \right] \cdot P_{\text{вх}} \quad (9)$$

Принимаем:  $P_{\text{вх}} = 3,5 \text{ МПа}$ ;  $\varepsilon_0 = 1,26 \text{ о.е.}$ ;  $n_0 = 8500 \text{ об / мин}$ ;  $\alpha = 0,85$ .

Подставив данные в уравнение, находим давление на выходе при номинальной скорости двигателя

$$P_{\text{вых}} = \left[ 1 + \left( \frac{8080}{8500} \right)^2 \cdot 1,2 \cdot (1,26^{0,85} - 1) \right] \cdot 3,5 \cdot 10^6 = 4,367 \text{ МПа} . \quad (10)$$

Имитационная модель системы в среде Matlab представлена на рисунке 38.



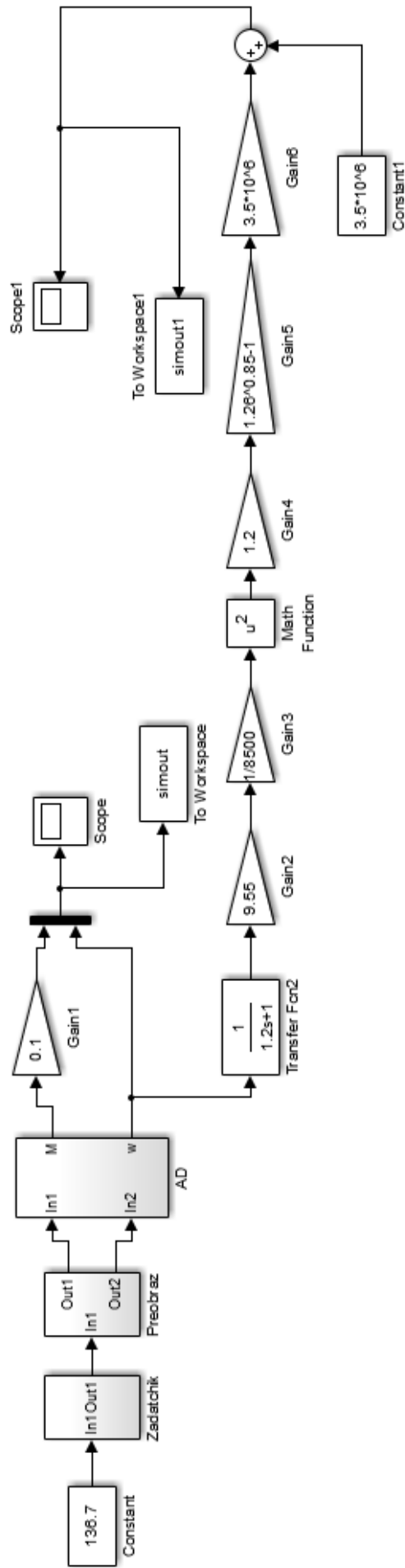


Рисунок 38 – Имитационная модель нагнетателя и асинхронного электропривода с скалярным управлением и задачиком интенсивности

Введем в систему двигатель-нагнетатель задатчик интенсивности для исключения пусковых моментов в виртуальной модели [29].

Имитационная модель S-образного задатчика интенсивности представлена на рисунке 39.

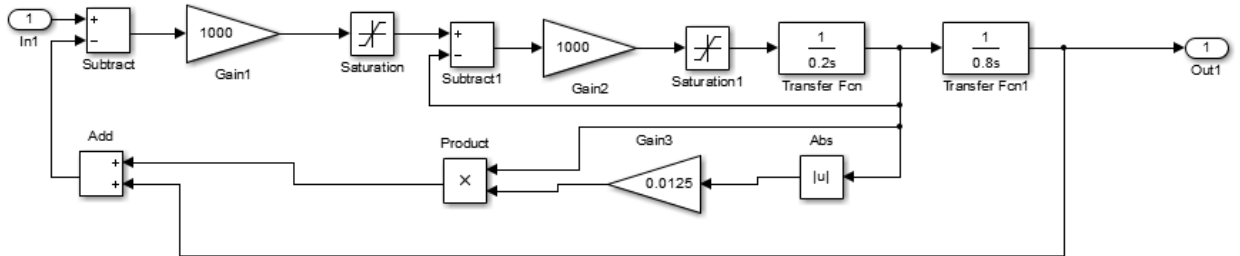


Рисунок 39 – Имитационная модель S-образного задатчика интенсивности

Ниже приведены графики переходных процессов угловой скорости вращения двигателя  $\omega = f(t)$  и давления газа на выходе нагнетателя  $P = f(t)$  в функции времени (рисунок 40).

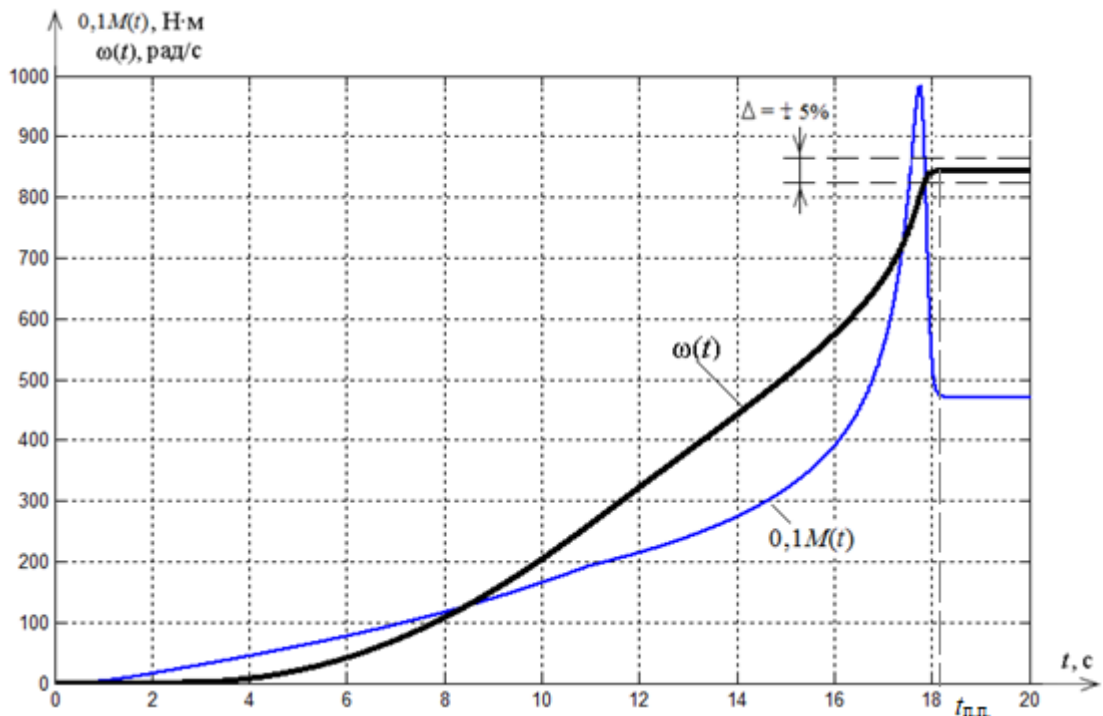


Рисунок 40 – Переходные процессы скорости и момента двигателя при пуске электропривода с задатчиком интенсивности на максимальную частоту

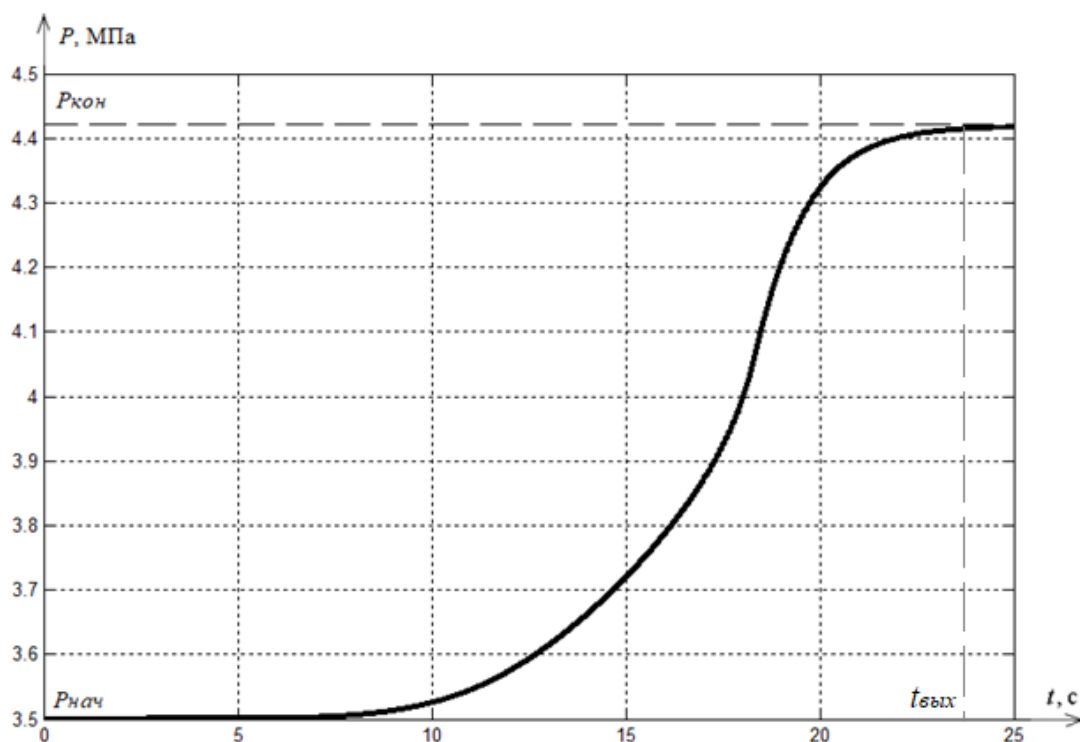


Рисунок 41 – Переходные процессы давления при пуске электропривода на максимальную частоту

### Вывод

Из рисунков 35-37 видно, что момент нагрузки не стремится к нулю. Это связано с технологическими особенностями пуска АД, который осуществляется под частичной нагрузкой (активной формы), т.е. в первую очередь открываются задвижки на газовом узле, и газ подается на ГПА, чтобы стравить воздух между газовым узлом и самими ГПА. Это нужно для того, чтобы не образовалась воздушная пробка, и не изменился химический состав газа. Затем производится пуск электрических двигателей. Газ в свою очередь «приходит» на ГПА под давлением и частично «помогает» раскрутить вал нагнетателя, а соответственно сделать пуск АД более облегченным. Пуск двигателя осуществляется в пределах 11 секунд, т.к. данный тип АД имеет достаточно большие габариты и мощность, вследствие чего не может выйти на номинальную частоту вращения за короткое время, как двигатели общепромышленного назначения. Наибольшее время

переходного процесса составляет 14 секунд при частоте питающего напряжения 70 [Гц].

Скорости и моменты на статических характеристиках при пересечении с вентиляторной характеристикой нагрузки (рисунок 27) соответствуют установившимся значениям скоростей и моментов в переходных режимах (рисунки 35-37). Результаты исследования переходных процессов давления газа при пуске электропривода на максимальную частоту полностью соответствуют паспортным данным данных газоперекачивающих агрегатов (  $P_{ex}=3,5$  МПа;  $P_{ex}=4,41$  МПа ).

## 5 Анализ суточного энергопотребления газокomppressorной станции (ГКС) «Александровская» после полной модернизации

Основным потребителем на газокomppressorной станции являлся компрессорный цех, а именно, синхронные машины СТД4000-2 в количестве 6 шт. В нормальном режиме работы КЦ в работе были два газоперекачивающих агрегата, один ГПА находился в плановом ремонте, а остальные три агрегата находились в резерве. Нагрузка вспомогательных объектов, составляет 6%, вследствие чего изменения нагрузки вспомогательных объектов значительно не влияет на суточный график энергопотребления.

Для оценки результатов модернизации ГКС «Александровская» необходимо произвести расчет суточного графика средней, а также максимальной электрических нагрузок компрессорного цеха, как наибольшего потребителя на ГКС. Для выполнения данной задачи воспользуемся известной методикой пересчета активной, реактивной, а также полной мощностей в именованные единицы. [19]

Зная максимум нагрузки  $P_p$ ,  $Q_p$ , типовой график, который строится в процентах, необходимо перестроить в именованные единицы (кВт, кВАр). Мощность ступени активной или реактивной мощности рассчитываются по следующим формулам:

$$P_{\text{ступени}} = \frac{n(\%)P_p (\text{кВт})}{100}; \quad (11)$$

$$Q_{\text{ступени}} = \frac{n(\%)Q_p (\text{кВАр})}{100}, \quad (12)$$

где  $P_p$ ,  $Q_p$  – это максимумы активной и реактивной мощности ступени графика нагрузки в определенное время суток;  $n$  – ордината соответствующей ступени характерного суточного графика нагрузки промышленного предприятия, %.

Полную мощность нагрузки найдем по формуле:

$$S_i = \sqrt{P_i^2 + Q_i^2}, \quad (13)$$

где  $S_i$ ,  $P_i$ ,  $Q_i$  – полная, активная и реактивная нагрузки ступени за время  $t$ .

Расчёты, произведенные по формулам (11-13) сводим в таблицу 14.

Таблица 14 – График нагрузок КЦ до и после модернизации

Время t, час Time t, H	Ордината мощности Ordinate power		Мощности до модернизации: Power before modernization:			Мощности после модернизации: Power after modernization:		
	$n_i(P)$ , %	$n_i(Q)$ , %	$P_i$ , кВт	$Q_i$ , кВАр	$S_i$ , кВА	$P_i$ , кВт	$Q_i$ , кВАр	$S_i$ , кВА
1	45	2,5	7395,71	141,95	7397,07	7560	118,9	7560,9
2	45	2,5	7395,71	141,95	7397,07	7560	118,9	7560,9
3	45	2,5	7395,71	141,95	7397,07	7560	118,9	7560,9
4	45	2,5	7395,71	141,95	7397,07	7560	118,9	7560,9
5	45	2,5	7395,71	141,95	7397,07	7560	118,9	7560,9
6	45	2,5	7395,71	141,95	7397,07	7560	118,9	7560,9
7	45	2,5	7395,71	141,95	7397,07	7560	118,9	7560,9
8	45	2,5	7395,71	141,95	7397,07	7560	118,9	7560,9
9	45	2,5	7395,71	141,95	7397,07	7560	118,9	7560,9
10	46	2,6	7560,05	147,63	7561,5	7567,6	119,14	7568,5
11	46	2,6	7560,05	147,63	7561,5	7567,6	119,14	7568,5
12	46	2,6	7560,05	147,63	7561,5	7567,6	119,14	7568,5
13	46	2,6	7560,05	147,63	7561,5	7567,6	119,14	7568,5
14	45,5	2,55	7477,88	144,79	7479,28	7563,8	119	7564,7
15	45,5	2,55	7477,88	144,79	7479,28	7563,8	119	7564,7
16	45,5	2,55	7477,88	144,79	7479,28	7563,8	119	7564,7
17	45,5	2,55	7477,88	144,79	7479,28	7563,8	119	7564,7
18	45,5	2,55	7477,88	144,79	7479,28	7563,8	119	7564,7
19	45	2,5	7395,71	141,95	7397,07	7560	118,9	7560,9
20	45	2,5	7395,71	141,95	7397,07	7560	118,9	7560,9
21	45	2,5	7395,71	141,95	7397,07	7560	118,9	7560,9
22	45	2,5	7395,71	141,95	7397,07	7560	118,9	7560,9
23	45	2,5	7395,71	141,95	7397,07	7560	118,9	7560,9
24	45	2,5	7395,71	141,95	7397,07	7560	118,9	7560,9
	итого		178565	3443,68	178598	181489	2855	181511,8

Строим графики нагрузок: активной, реактивной и полной мощности до, а также после модернизации, исходя из последних полученных данных нагрузки суточного режима ГКС «Александровская» для КЦ (рисунок 42).

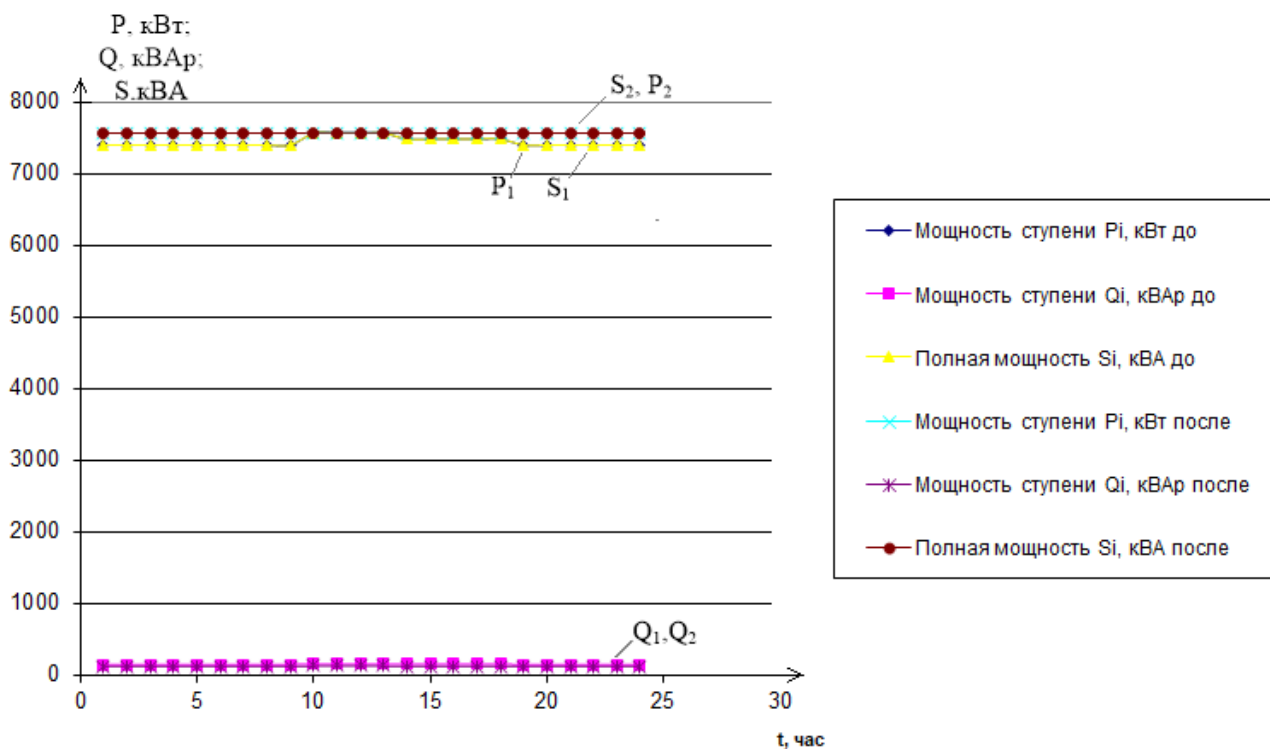


Рисунок 42 – Суточный график активной, реактивной и полной нагрузок: 1 – до и 2 – после модернизации

### Вывод

Произведен анализ суточного энергопотребления газокompрессорной станции «Александровская» после ее полной модернизации. В результате полученных данных (рисунок 42) видно, что реактивная мощность  $Q$  практически не изменилась после модернизации, а колебания реактивной мощности составляют доли процента. Активная мощность  $P_2$  и полная мощность  $S_2$  после модернизации увеличились и в результате их колебания фактически не заметны и в свою очередь составляют от 3 до 5 %, по сравнению с теми же параметрами до модернизации – 10-15%.

В результате, после модернизации ГКС «Александровская» удалось снизить среднеемесячное потребление электроэнергии отдельных объектов на ней на 25%.

## 6 Социальная ответственность

Безопасность жизнедеятельности (БЖД) – это наука, которая изучает различного рода опасности и способы защиты от них. Является составной частью системы государственных, оборонных и социальных мероприятий, которые проводятся с целью защиты населения и хозяйства страны от последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий и т.д. Основной целью БЖД как науки является – защита человека в техносфере от негативных опасностей (воздействий) антропогенного и естественного происхождения, а также достижения комфортных и безопасных условий жизнедеятельности. [31]

Целью разработки раздела «Социальная ответственность» является принятие проектных решений и комплексных мероприятий, которые исключают несчастные случаи и профессиональные заболевания на производстве, обеспечивают максимально возможное снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях, а также экономное расходование ресурсов.

Рассмотрение данных вопросов полностью отвечает требованиям, предъявляемым международным стандартом ICCSR-26000:2011 «Социальная ответственность организации» к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения и комплексные мероприятия технического, организационного, а также правового характера.

### 6.1 Анализ вредных факторов

В процессе работы на газокompрессорной станции человек вступает во взаимодействие с орудиями труда, предметами труда и другими людьми из персонала. Безусловно на него воздействуют параметры окружающей среды рабочей обстановки. От условий труда, в которых работает персонал компрессорной станции или любого другого производства зависит отношение



персонала к труду и, как следствие, результаты труда. При плохих условиях труда резко снижается работоспособность, что в свою очередь приводит к повышению процента профессиональных заболеваний и травм. Под условиями труда подразумеваются факторы производственной среды, которые оказывают влияние на самочувствие персонала, а также его производительность в процессе труда.

Вредный производственный фактор — такой производственный фактор, воздействие которого на персонал может являться причиной заболевания. [31]

В компрессорном цехе, где находятся массивные высоковольтные, высокоскоростные газоперекачивающие агрегаты (ГПА), а также большое количество различной электроники, релейной защиты, аппаратов управления, укомплектованных в десятки силовых шкафов под напряжением, на рабочих могут воздействовать следующие вредные факторы:

— Повышенный уровень шума;

При частоте вращения валов в пределах 8000 об/мин двух высоковольтных асинхронных двигателей создается повышенный уровень шума на рабочем месте. Длительное влияние шума на организм человека может привести к неизлечимому ухудшению слуха, а в отдельных случаях – к глухоте.

— Вибрация;

Работа массивных компрессорных агрегатов вызывает значительную вибрацию, которая негативно влияет на работоспособное состояние и здоровье обслуживающего персонала.

— Недостаточная освещенность;

Искусственное освещение как правило предусматривается в тех помещениях, в которых испытывается недостаток солнечного света, а также для освещения помещения в те часы, когда естественная освещенность отсутствует. По принципу организации искусственное освещение можно разделять на общее и комбинированное. Рекомендуется использовать общее локализованное освещение, так как требуется создать повышенную освещенность на рабочих местах.

В качестве источников искусственного освещения рекомендуется использовать современные светодиодные взрывозащищенные светильники фирмы ВЭЛАН, которые обладают рядом преимуществ, например, высокой долговечностью, экономичностью, а также высокой светоотдачей по сравнению с галогеновыми светильниками, лампами накаливания. [32]

— Наличие в воздухе взвешенных частиц;

Помещение должно быть оборудовано вытяжными вентиляторами. [33, 34]

### 6.1.1 Микроклимат

Помещение цеха характеризуется:

- наличием большого количества металлического и электрического оборудования;
- возможные повышения температуры в помещениях от работы ГПА;

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
		По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88
Холодный	Средней тяжести	16 – 18	40 – 60	0,3
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	18 – 20	40 – 60	0,3

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

- вентиляция приточно-вытяжная по СНиП 2.04.05 – 91(28.11.91) установка центробежных вентиляторов. Двухуровневая (вдоль стен, на потолке);
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;

Предусмотренные мероприятия обеспечивают параметры микроклимата в соответствии с нормами, представленными в таблице 15.

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

### 6.1.2 Шум и вибрация

Шум — является одним из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Основные производственные процессы, сопровождающиеся шумом — это работа массивных центробежных компрессоров, вентиляторов двухуровневой вентиляции и др. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, появляется звон в ушах, который проявляется даже в нерабочее время. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности и внимания, что недопустимо на предприятиях с повышенной ответственностью за жизни и здоровье персонала и безопасность окружающей среды, и т.п. В результате это приводит к снижению производительности труда и качеству выполняемой работы. [35, 36]

Для защиты от шума персонала в пункте управления компрессорной станцией по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются:

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

В самом машинном зале снизить уровень шума непосредственно от его источников не представляется возможным, настоятельно рекомендуется использовать средства индивидуальной защиты, например, беруши либо наушники. [36]

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Предельно допустимые уровни шума

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

Для уменьшения влияния вибраций, вызываемых работой компрессоров, следует соблюдать следующие условия:

- а) площадки между смежными фундаментами компрессоров должны быть вкладными, свободно опирающимися на фундаменты;
- б) трубопроводы, присоединяемые к машине, не должны иметь жесткого крепления к конструкциям зданий; при необходимости применения таких креплений следует предусматривать соответствующие компенсирующие устройства;
- в) трубопроводы, соединяющие цилиндры компрессора с оборудованием (буферные емкости, промежуточные холодильники), должны обеспечивать компенсацию деформаций. [35]

Технические нормы вибрации представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Технические нормы вибрации

Вид вибрации	Среднеквадратичная частота, Гц									
	Логарифмический уровень виброскорости									
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500
Цех	-	103	100	101	106	112	118	-	-	-

## 6.2 Анализ опасных факторов

Опасный производственный фактор — это такой производственный фактор, действие которого может стать причиной травм для рабочего персонала (к таким факторам относятся пожар, взрыв, электрический ток, движущиеся предметы, высота). [31]

Проведем анализ опасных производственных факторов при работе персонала на газоперекачивающей станции. Основными опасными факторами являются:

— Возможность поражения человека электрическим током;

Работа производится с рабочими электрическими установками, в частности высоковольтными двигателями и другого оборудования;

— Возможность возникновения воспламенения или взрыва природного газа;

Работа газоперекачивающей станции заключается в «дожиге» природного газа по газопроводу с непосредственным использованием электрических асинхронных двигателей, электрического и электронного оборудования. Естественно это является очень опасным фактором и требует к себе повышенного внимания с точки зрения систем пожаро- и взрывобезопасности, ведь утечка газа и искрения электрической аппаратуры в компрессорном цехе должны быть полностью исключены.

— Возможность механического повреждения частей человеческого тела;

Работа проводится с рабочим двигателем, соответственно вал двигателя находится в движении, что может привести к механическим повреждениям частей тела человека. Однако, благодаря конструкции современных двигателей, опасность представляют лишь выходные концы валов и места соединений. Для снижения риска устанавливают кожухи в местах выходных концов валов, а место соединения вала двигателя с валом нагнетателя также закрыто кожухом и находится внутри бетонной несущей стены.

— Повышенный уровень вибрации.

Опасность может представлять повышенный уровень вибрации, который возникает во время работы исследуемого двигателя при нагрузках выше номинальной. Для избегания влияния вибраций на человека необходимо провести мероприятия по жесткой фиксации рабочих механизмов на своих местах с использованием современных виброгасящих материалов.

#### 6.2.1 Загорание (пожар), взрыв

Пожар – неконтролируемый процесс горения, которые чреватые большими материальными издержками, а часто и человеческими жертвами. [37]

Взрыв – сопровождающееся сильным звуком воспламенение чего-либо (в данном случае природного газа), вследствие мгновенного химического разложения вещества и образования сильно нагретых газов. [38]

Газокомпрессорная станция представляет собой производство с повышенной пожаро- и взрывоопасностью. Вследствие чего на подобного рода производствах необходимы соответствующие меры по максимальному снижению данных опасных факторов и в случае их возникновения, незамедлительному их устранению.

Для снижения уровня опасности на КС проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей и использование специального электрического оборудования, предназначенного для работы в газовой отрасли, имеющего необходимую минимальную степень

защиты IP55. Использование данной степени защиты – одно из направлений профилактики, оно должно быть установлено на объектах, где воздействие опасных факторов пожара может привести к травматизму или гибели людей, этого требует «технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Важным моментом при строительстве компрессорного цеха является обязательное герметичное отделение машинного зала, где находится все электрическое оборудование, от нагнетательного зала, где расположены сами центробежные компрессоры, несущей бетонной стеной. Т.е. проще говоря, двигатели и центробежные компрессоры, непосредственно взаимодействующие с газом, расположены в разных помещениях. Благодаря этому значительно уменьшается возможность возгорания или взрыва на производстве. [38]

Компрессорная станция оснащена системой с дымовыми и газовыми извещателями. Сигналы извещателей включают систему протоколирования информации, формируют управляющую систему тревоги и систему оповещения о пожаре или утечке газа, для своевременной эвакуации людей. На КС необходима установка автоматического газового пожаротушения. Данную систему можно разделить на две группы: 1 - деоксиданты (вытеснители кислорода) – вещества, создающие вокруг очага горения концентрированное облако, препятствующее притоку кислорода и «удушающее» таким образом очаг возгорания. К этой группе относятся ГОС на основе углекислоты, азота, аргона и инергена. 2 - ингибиторы (подавители горения) – вещества, вступающие с горящими веществами в химические реакции, отнимающие энергию у процесса горения. Прежде чем сработает данная система пожаротушения, у персонала есть всего одна минута, чтобы успеть покинуть помещение, иначе персонал может задохнуться, еще прежде чем подвергнуться травматизму от открытого огня. [9, 37, 38, 39]

## 6.2.2 Электропоражение

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), рассмотреть следующие вопросы:

- а) обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- б) требования к электрооборудованию;
- в) анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;
- г) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;
- д) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током. [39, 40, 41]

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

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



### 6.3 Защита окружающей среды

Проблема защиты окружающей среды - одна из важнейших задач современности. В последние годы во всем мире все с большей силой поднимается вопрос об охране окружающей среды.

Одна из самых серьезных проблем — потребление электроэнергии. С увеличением количества различных видов электрооборудования, внедряемых в производственную сферу, увеличится и объем потребляемой ими электроэнергии, что влечет за собой увеличение мощностей электростанций и их количества, что в свою очередь приводит к повышенному образованию угольных бассейнов и потреблению каменного угля, затопления огромных территорий при строительстве ГЭС и мн. др. Еще одной основной проблемой в газовой промышленности является прокладка газопровода через огромные просторы лесов, в которых нарушается экосистема. Пожаро- или взрывоопасная ситуация на КС, газопроводе может нанести непоправимый ущерб лесам, которые и так активно горят в последнее время. Современное существование человека наносит непоправимый вред окружающей природе. Поэтому в газовой промышленности необходимо использовать современное пожаро- или взрывозащищенное оборудование, а также очень внимательно выполнять работу на КС.

Также помимо основных проблем, описанных выше, существуют не менее серьезные проблемы для окружающей среды, которые проявляются и имеют «накопительный» характер в следующих формах.

Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в местную канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на собственных очистных сооружениях компрессорной станции.

При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы;

офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014) [42]: бытовой мусор после предварительной сортировки складывают в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую (сельскую) свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [43].

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

## 6.4 Предотвращение ЧС и устранение их последствий

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

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации на газоперекачивающей станции: возникновение пожара, взрыва и электропоражение.

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях,

электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования во время утечки природного газа.

Согласно [38], пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно-техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение автоматической газовой системы пожаротушения; применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, необходимое количество на всю территорию КС ящиков с песком 0,5 м<sup>3</sup>. [9, 38]

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

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает начальнику КС, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь. [9]

#### 6.4.2 Электропоражение как источник ЧС

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

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;

- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [21] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [41] п.413.

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

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

## Вывод

Были рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности, касающиеся работы на компрессорной станции, так и в самом компрессорном цеху, а также разработаны мероприятия по предупреждению воздействия опасных и вредных производственных факторов на здоровье работников предприятия. В значительной степени модернизирована система пожаротушения на особо опасных объектах, таких как газоконпрессорная станция, с применением автоматического пожаротушения по технологии вытеснения кислорода.

## 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является определение экономической целесообразности модернизации газокompрессорных станций «Александровская». Потенциальными потребителями результатов данных исследований могут являться предприятия газовой промышленности, на которых осуществляется перекачивание природного газа по газопроводу по Томской, Кемеровской, Новосибирской, Омской и других областях. На данных предприятиях для более эффективного, экономичного «дожатия» газа по газопроводу, с точки зрения энергозатрат, затрат денежных ресурсов на ремонт, техническое обслуживание электро- и газооборудования, на сегодняшний день необходима полномасштабная модернизация и перепланировка всех газокompрессорных станций на данном участке газопровода.

В данном разделе будут рассмотрены следующие задачи:

- Оценка коммерческого потенциала внедрения данной методики;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной эффективности исследования.

### 7.1 Анализ конкурентных технических решений

Рынки газового, электрического, осветительного, вентиляционного, дизельного и многого другого оборудования, необходимого для модернизации газокompрессорной станции постоянно пребывают в движении и на сегодняшний день являются перенасыщенными. Поэтому анализ конкурентных технических решений, современных разработок необходимо проводить систематически, т.е. по такой системе, которая позволит легко и максимально эффективно внести необходимые поправки и коррективы спустя некоторое время, а значит делать это постоянно, регулярно и соответственно успешнее конкурировать на рынке.

Конкуренция в свою очередь служит наиважнейшим способом повышения эффективности, как всей экономической системы, так и всех отдельных ее звеньев.

При модернизации компрессорной станции осуществляется замена огромного количества различного оборудования. Поэтому для наибольшей наглядности и максимального эффекта данный анализ проводится с помощью оценочной карты (таблица 18), в которой рассматриваются только два конкурирующих асинхронных электродвигателя (Siemens 1TA2832-4AU01-Z и АРМ-4000/10-2УХЛ4 российского производства). Другое оборудования пока не рассматривается, т.к. электродвигатели представляют собой основное оборудование газоперекачивающих агрегатов и поэтому целесообразно проводить экспертную оценку по техническим, экономическим критериям именно по данным электрическим машинам.

Таблица 18 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес	Баллы		Конкурентоспособность	
		Siemens 1TA2832-4AU01-Z	АРМ-4000/10-2УХЛ4	Siemens 1TA2832-4AU01-Z	АРМ-4000/10-2УХЛ4
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
Простота в эксплуатации	0,1	5	4	0,9	0,6
Надежность	0,25	5	4	1	0,6
Габариты	0,05	3	4	0,6	0,7
Регулирование частоты вращения	0,2	5	3	1	0,5
Возможность использования безредукторного привода	0,2	5	0	1	0
<b>Экономические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
Конкурентоспособность	0,05	5	3	0,7	0,3
Уровень проникновения на рынок	0,05	5	2	0,8	0,2
Цена	0,1	2	4	0,2	0,6
Итого	1	35	21	6,2	2,42

По результатам оценочной карты можно убедиться, что электродвигатель типа 1TA2832-4AU01-Z фирмы Siemens в сравнении с электродвигателем АРМ-4000/10-2УХЛ4 является более эффективным по техническим и экономическим критериям. Конкурентными преимуществами разработки являются: высокая надежность электрической машины, возможность регулирования частоты вращения вала электродвигателя с использованием безредукторного электропривода.

## 7.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Целью данного раздела является пошаговое планирование научно-исследовательской работы для детального отображения длительности работы исполнителей.

В реализации данного проекта участвовало два исполнителя – руководитель и инженер. Разделение выполнения данного проекта на этапы представлено в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень этапов, работ и распределение обязанностей между участниками проекта

Основные этапы	№ раб.	Содержание работы	Должность исполнителя	Загрузка
Разработка тех. задания	1	Составление и утверждение задания НИР	Руководитель	100%
Выбор направления исследования	2	Изучение исходных данных и материалов по тематике	Инженер	100%
	3	Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	Инженер	100%
	4	Календарное планирование работ	Руководитель	50%
Инженер			50%	



Продолжение таблицы 19

Теоретические исследования	5	Разработка нового генерального плана КС (перепланировка)	Инженер	100%
	6	Модернизация электрического и газового оборудования в КЦ	Руководитель	25%
			Инженер	75%
	7	Модернизация осветительного, пожарного оборудования	Инженер	100%
8	Моделирование работы ГПА с помощью программных обеспечений Matlab и MathCad	Инженер	100%	
Оформление отчёта по НИР	9	Составление пояснительной записки	Инженер	100%

### 7.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

Построение ленточного графика проведения научных работ в форме Гантта является одним из наиболее удобных и наглядных способов построений для проведения научного исследования.

Диаграмма Гантта – представляет собой ленточную диаграмму, которая имеет две шкалы: шкала выполняемых задач и временная шкала. В соответствии со сроком, отведенным по проекту каждой задаче, он откладывается на временной шкале.

Необходимо перевести длительность каждого из этапов работ из рабочих дней в календарные дни. Для этого нужно рассчитать коэффициент календарности по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48 ,$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Далее приводится пример расчёта временных показателей проведения научного исследования для первого этапа работы, остальные будут выполняться аналогично.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости  $t_{\text{ож}i}$  используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5},$$

где  $t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоёмкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\text{мин}i}$  – минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{макс}i}$  – максимально возможная трудоёмкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн (так как исполнители работали одновременно, то минимально и максимально возможную, а также ожидаемую трудоёмкость учитываем общими для исполнителей).

$$t_{\text{ож}1} = \frac{3t_{\text{мин}1} + 2t_{\text{макс}1}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8 \text{ чел. -дней.}$$

Определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{ч_i},$$

где  $ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

$$T_{p1} = \frac{t_{\text{ож}1}}{ч_1} = \frac{1,8}{1} = 1,8.$$

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни по формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях.

$$T_{k1} = T_{p1} \cdot k_{\text{кал}} = 1,8 \cdot 1,48 \approx 3.$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 20.

Таблица 20 – Временные показатели проведения научного исследования

№ раб.	Исполнители	Трудоёмкость работ			Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
		$t_{min}$ , чел. –дни	$t_{max}$ , чел. –дни	$t_{ож}$ , чел. –дни		
1	Руководитель	1	3	2	2	3
2	Инженер	14	21	17	17	25
3	Инженер	7	10	8	8	12
4	Руководитель	1	3	2	1	1
	Инженер	1	3	2	1	1
5	Инженер	7	14	10	10	15
6	Руководитель	3	5	4	2	3
	Инженер	11	16	13	7	10
7	Инженер	10	14	12	12	17
8	Инженер	7	14	10	10	15
9	Инженер	14	21	17	17	25
Итого:						127

На основе таблицы 20 строим план-график работ руководителя (Р) и инженера (И), представленный в таблице 21.

Таблица 21 – Календарный план-график проведения ВКР

№ раб.	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				фев р		март			апрел ь			май			ию нь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1	Составление и утверждение задания НИР	Р	3													
2	Изучение исходных данных и материалов по тематике	И	25													



В результате построения ленточного графика проведения научных работ в форме Гантта, был наглядно и детально представлен перечень этапов, работ и распределение обязанностей между участниками проекта, а также выявлено общее количество календарных дней для выполнения работы (127 дней), общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер (120 дней) и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель (7 дней).

Данный ленточный график достаточно удобен в построении, прост в прочтении и наглядно отражает затраченное время на тот или иной этап работы.

### 7.3 Бюджет научно-технического исследования

Целями данного раздела являются расчет основной заработной платы руководителя и инженера, определение затрат по дополнительной заработной плате исполнителей темы и других расходов на реализации проекта по модернизации компрессорной станции.

#### 7.3.1 Расчет материальных затрат

Затраты, связанные с приобретением материалов, необходимых для проведения работ по конкретной теме, сведены в таблицу 23.

Таблица 23 – Расчет материальных затрат

Наименование	Цена за единицу, руб.	Кол-во	Общая стоимость, руб.
Ручка	20	2шт	40
Бумага	240	1 упаковка	240
Скоросшиватель	35	1	35
Мультифоры	125	1 упаковка	125
Итого:			340

### 7.3.2 Затраты на амортизацию

Амортизация — это есть процесс периодического переноса начальной стоимости основного средства или нематериального актива на производственные, коммерческие или общехозяйственные расходы — в зависимости от того, как этот актив используется. Т.е. в результате выполнения ВКР вычисления, построение необходимых графических зависимостей производилось с помощью персонального компьютера (ПК), который способен приносить доход от владения им в течение долгого периода времени.

Таблица 24 – Затраты на оборудование

Наименование оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Кол-во единиц оборудования	Общая стоимость оборудования, руб.
ПК	40000	1	40000
Итого:			40000

В связи с длительностью использования, учитывается стоимость оборудования и программного обеспечения с помощью амортизации:

$$A_{\text{комп}} = \frac{\text{стоимость} \cdot N_{\text{дней.использования}}}{\text{срок.службы} \cdot 365} = \frac{40000 \cdot 127}{3 \cdot 365} = 4639 .$$

### 7.3.3 Основная заработная плата

Основная заработная плата руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

- 1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями;
- 2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

В данную тему включается заработная плата инженера и руководителя.

Основная заработная плата (руководителя, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для 5- дневной недели (инженер):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.},$$

Для 6- дневной недели (руководитель):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{51285 \cdot 10,4}{247} = 2159,4 \text{ руб.},$$

где  $Z_m$  – месячная заработная плата работника, руб.:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}$$

где  $Z_{mc}$  – оклад, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2;

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

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

Таблица 25 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{mc}$ , руб.	$k_{np}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_{pi}$	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2159,4	5	10797
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	82	142934,2
Итого:								153731,2

#### 7.3.4 Дополнительная заработная плата исполнительской системы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующим формулам:

$$\text{Руководитель: } Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 10797 = 1295,64 \text{ (руб.)},$$



Инженер:  $Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 142934,2 = 17152,1$  (руб.),

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы принимается равным 0,12.

### 7.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величину отчислений во внебюджетные фонды определим, как:

Руководитель:  $Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (10797 + 1295,64) = 3627,8$  (руб);

Инженер:

$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (142934,2 + 17152,1) = 48025,9$  (руб);

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

На 2017 год для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность вводится пониженная ставка – 30 %.

### 7.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} = (Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб} + Z_{мат} + A) \cdot 0,16 = \\ = (153731,2 + 18447,74 + 51653,7 + 340 + 4639) \cdot 0,16 = 36609,86 \text{ (руб.)};$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

### 7.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета на научно-исследовательский проект приведено в таблице 26.

Таблица 26 – Бюджет затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля в %
1. Материальные затраты	340	0,1
2. Затраты на амортизацию	4639	1,7
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей проекта	153731,2	57,9
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта	18447,74	7
5. Отчисления во внебюджетные фонды	51653,7	19,5
6. Накладные расходы	36609,86	13,8
<b>Бюджет затрат НТИ</b>	<b>265421,5</b>	

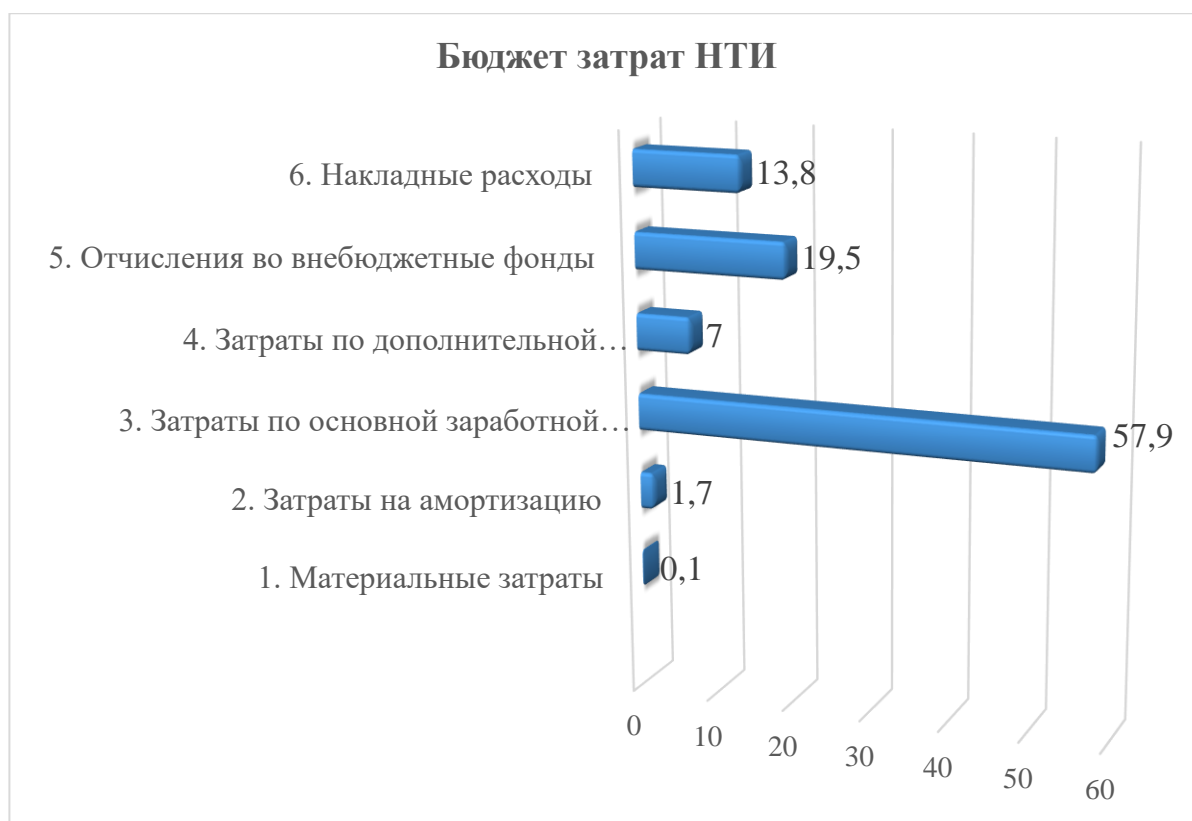


Рисунок 43 – Диаграмма бюджета затрат НТИ

Расчёт бюджета затрат НТИ, представленный в виде диаграммы, показал, что общие расходы на проектирование составили 265421,5 руб., а наибольшими затратами являются затраты по основной заработной плате исполнителей проекта в размере 153731,2 руб. (57,9 %) и расходы на отчисления во внебюджетные фонды в размере 51653,7 руб. (19,5 %).

#### 7.4 Определение капитальных затрат на модернизацию компрессорной станции

Целью данного раздела является определение целесообразности модернизации газокompрессорной станции с точки зрения финансовой эффективности.

Определение эффективности происходит на основе сведения в таблицу 27 основных затрат на модернизацию.

Таблица 27 – Капитальные затраты на модернизацию КС

Наименование оборудования	Цена за 1 шт. тыс. руб.	Количество	Сумма тыс. руб.
ГПА	150000	3	450000
Вентиляция (1 уровень)	15	15	225
Вентиляция (2 уровень)	24,4	5	122
Лампы осветительных мачт	20	40	800
Взрывозащищенные лампы КЦ	7,05	74	521,7
Лампы общепромышленного назначения	1,2	1754	2104,8
Дизельная электростанция	3200	1	3200
Блок – боксы согласующих трансформаторов	2500	2	5000
КТП 2 × 630 кВ·А	700	1	700
КТП 2 × 400 кВ·А	575	1	575
Затраты на проектирование		265,42	
Итого			463514 тыс. руб.

В таблице 27 приведены основные затраты на модернизацию КС, которые можно найти в каталогах промышленности. Кроме того, необходимо учитывать дополнительные затраты на перепланировку основных и вспомогательных зданий, полный комплект закрытого распределительного устройства, приобретение разделительного трансформатора 10/10 кВ.

В результате удалось определить только приблизительную стоимость затрат на модернизацию лишь одной из десятка ГКС на данном газопроводе в размере 463 514 000 руб. Основную часть затрат составляют затраты на приобретение и монтаж газоперекачивающих агрегатов. В сравнении с отечественными аналогами данные агрегаты превышают их по стоимости в несколько раз. Это обусловлено наличием автоматики, современного и

высококачественного оборудования с высоким уровнем безопасности эксплуатации в пожаро- и взрывоопасной газовой промышленности, возможностью управлять работой ГКС удаленно из г. Томска, и конечно завышенным курсом доллара (USD) и евро (EUR) по отношению к рублю (RUB).

Газокомпрессорная станция «Александровская» находится в резерве, т.к. давления в газопроводе достаточно. В случае же непредвиденных аварийных ситуаций станция возобновляет свою работу. Окупаемость модернизации должна оцениваться в постоянной пропускной способности станции, но пуск ГПА происходит в единичных аварийных случаях. Именно поэтому нельзя корректно и точно оценить время окупаемости затрат. В таком режиме работы станция может окупить себя предположительно в течение 10 – 15 лет резервной эксплуатации. Это достаточно долгий период времени, но не модернизировать данную станцию нельзя, т.к. газовая промышленность требует к себе повышенной ответственности, технической надежности и готовности вступить в работу в любое время суток на неограниченное количество времени. Также стоит дополнить, что приобретение более качественного, автономного, долговечного оборудования за большие деньги целесообразнее, чем многократное приобретение низкокачественного оборудования с меньшим сроком эксплуатации. В итоге можно сделать вывод о том, что якобы не выгодная модернизация КС очень выгодно сказывается на работе перекачивания природного газа по газопроводу по Томской, Кемеровской, Новосибирской, Омской и других областях.

### Вывод

В результате выполнения изначально сформулированных целей разделов, можно сделать следующие выводы:

- 1) По результатам оценочной карты можно сделать вывод о том, что электродвигатель типа 1TA2832-4AU01-Z фирмы Siemens в сравнении с электродвигателем АРМ-4000/10-2УХЛ4 является эффективней по техническим и

экономическим критериям. Конкурентными преимуществами разработки являются: высокая надежность электрической машины, возможность регулирования частоты вращения вала двигателя с использованием безредукторного электропривода;

2) При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 127 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 120 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 7;

3) Составлен бюджет научного исследования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 265421,5 руб.;

4) Проведенная оценка целесообразности вложения огромного количества денежных средств в модернизацию КС «Александровская». По результатам проведенного анализа сделаны выводы о оправданности затрат на модернизацию и перепланировку основного и вспомогательного оборудования.

## Заключение

В представленной выпускной квалификационной работе была проведена модернизация системы электроснабжения, газоперекачивающих агрегатов, электрооборудования всех основных и вспомогательных объектов, освещения помещений цехов, а также осветительных мачт газокompрессорной станции «Александровская».

Согласно плану модернизации, были получены следующие результаты:

1) Замена газоперекачивающих агрегатов, силовых и управляющих шкафов привела к улучшению процесса перекачивания природного газа главным образом за счет автоматизации процесса. Также в результате замены высоковольтных синхронных электродвигателей на асинхронные, значительно улучшился процесс пуска. А именно, появилась возможность плавного и точного частотного регулирования вращения валов ГПА, до максимальной допустимой частоты вращения 9840 об/мин, и давления газа в пределах 3,81 – 4,41 МПа. Также сведены к минимуму броски тока в момент пуска электрических машин, в частности за счет облегченного пуска вследствие раскручивания вала нагнетателя давлением газа на входе в него.

2) Вследствие того, что ГКС имеет статус резервной, а давления в газопроводе достаточно, то принято решение сократить количество газоперекачивающих агрегатов с шести до трех. Это привело к тому, что мощность КС снизилась с 26 МВт до 14 МВт.

3) Установка двухуровневой автоматической вытяжной системы вентиляции в дополнении с аварийной системой загазованности помещений в компрессорном цехе, привела к улучшенным условиям труда и повышенной безопасности для персонала при эксплуатации компрессорного оборудования.

4) Замена осветительного оборудования во всех цехах, а также на пяти осветительных мачтах по всей территории компрессорной станции, привела к уменьшению потребления активной мощности с 30 кВт до 9 кВт, что привело к значительному снижению потребления электроэнергии в сутки.

5) В результате модернизации ГКС получили снижение реактивной мощности с 147,63 кВАр до 119,14 кВАр, а также увеличение полной мощности с 7561,5 кВА до 7568 кВА, что привело к снижению электрических потерь на 25%. [44]

б) Затраты на модернизацию КС приблизительно составили 800 млн. руб. Согласно результатам исследования, данная сумма может окупиться в течение 10-15 лет, вследствие резервного статуса компрессорной станции «Александровская».



## Список использованных источников

1. Способ энергосбережения энергоресурсов магистральных газопроводов на компрессорных станциях: патент Рос. Федерация № 2171420, заявл. 30.12.99; опубл. 27.07.01, Бюл. № 21.
2. Модульная компрессорная станция: патент Рос. Федерация № 2463515, заявл. 05.05.11; опубл. 10.10.12, Бюл. № 28 – 8 с.
3. Дожимная компрессорная станция газопровода: патент Рос. Федерация № 2463515, заявл. 26.03.04; опубл. 27.06.06, Бюл. № 18 – 16 с.
4. Компрессорная установка: патент Рос. Федерация № 2529431, заявл. 23.07.13; опубл. 27.09.14, Бюл. № 27 – 8 с.
5. Блочный компрессорный агрегат: патент Рос. Федерация № 2511957, заявл. 21.11.12; опубл. 10.04.14, Бюл. № 10.
6. Кочкин П.А., Мухин И.Н. Методы повышения эффективности работы компрессорных станций/ «Информатизация и Системы Управления в промышленности» «ИСУП», №3 (23), 2009 г.
7. Неволин А.М., Плотников П.Н. Повышение эффективности работы аппаратов воздушного охлаждения масла газоперекачивающих агрегатов на базе газотурбинной установки ГТН-16/ Вестник Ужно-Уральского Университета. Серия: Энергетика, 2014 г. С/ 17- 24.
8. Общая информация о компрессорных станциях [Электронный ресурс] : Режим доступа: [http://www.intech-gmbh.ru/gas\\_booster\\_station.php](http://www.intech-gmbh.ru/gas_booster_station.php) – 20.03.2017 г.
9. Инструкция по эксплуатации ЭГПА-4,0/8200-56/1,26-Р, ОАО «Газпром», ООО «Газпром трансгаз Томск», Томское линейное управление магистральных газопроводов, 2011 г., 73 С.
10. Описание и технические характеристики синхронного электродвигателя СТД-4000-2 [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/5789594/page:51/> – 24.03.2017 г.

11. Достоинства и недостатки синхронных двигателей в сравнении с асинхронными [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://vunivere.ru/work48946> – 25.03.2017 г.
12. Описание и технические характеристики асинхронного электродвигателя серии АРМ [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://docslide.us/documents/544f1625b1af9f25128b49fb.html> – 02.04.2017 г.
13. Описание и технические характеристики асинхронного электродвигателя серии ВАО [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://elektrodvigateli.ru/vzryvozaschischnie/elektrodvigateli-vao.html> – 04.04.2017 г.
14. Описание и технические характеристики асинхронного электродвигателя Siemens 1MA7 [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://www.iscom.ru/productions/privodnaya-tehnika/elektrodvigateli/dvigateli-Siemens-c-povyshennoiy-bezopasnostyu/> – 06.04.2017 г.
15. Описание и технические характеристики осветительного оборудования ВЭЛАН [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://www.veland.ru/production/osvetitelnoe-oborydovanie/> – 12.04.2017 г.
16. Дементьев Ю.Н, Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 224 с.
17. Семидуберский М.С. Насосы, компрессоры, вентиляторы. Учебник для техникумов. Изд. 4-е перераб. и доп. М., «Высшая школа», 1974 – 232с.
18. Чернышев А.Ю., Кояин Н.В. Проектирование электрических приводов: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 120 с.
19. Мальцева О.П., Кояин Н.В., Удут Л.С. 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.
20. Петрович В.П., Воронина Н.А., Глазачев А.В. Силовые преобразователи электрической энергии: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 254 с.

21. Описание и технические характеристики центробежного нагнетателя 220-11-1СМП [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://www.reph.ru/production/type/716/716/> – 14.04.2017 г.
22. Описание и технические характеристики преобразователя частоты SIEMENS 6SL3810-2LN41 -1AA0 5300 KBT 1110A [Электронный ресурс] : Режим доступа: [http://www.plc.ru/catalog/sinamics\\_gm150/6sl3810-2ln41--1aa0/](http://www.plc.ru/catalog/sinamics_gm150/6sl3810-2ln41--1aa0/) – 15.04.2017 г.
23. Описание и технические характеристики датчика давления газа Fuji Electric серии FCX-All [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://kontech-system.com.ua/davlenie/datchiki-davleniya/datchiki-davleniya-fuji-electric-serii-fcx-all.html> – 20.04.2017 г.
24. Описание и технические характеристики вакуумных выключателей ВБПП-10-20/1250 У2 [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://www.kontakt-kazan.ru/catalog/tech/5-Katalog-vysokovoltnoy-vakuumnoy-komutacionnoy-ap-ry.pdf> – 25.04.2017 г.
25. Описание и технические характеристики контроллера силовых шкафов ALSPA C80-НРСi VMIC7700 [Электронный ресурс] : Режим доступа: [http://ibaTag\\_2006\\_DGM200\\_Convertteam.pdf](http://ibaTag_2006_DGM200_Convertteam.pdf) – 27.04.2017 г.
26. Описание и технические характеристики силовых токоведущих шин Linergy Evolution [Электронный ресурс] : Режим доступа: [http://www.idelectro.ru/uploadedFiles/files/Linerger\\_Evolution\\_katalog.pdf](http://www.idelectro.ru/uploadedFiles/files/Linerger_Evolution_katalog.pdf) – 29.04.2017 г.
27. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учебное пособие. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 476 с.
28. Однокопылов И.Г. Теория электропривода. Лабораторный практикум/ И.Г. Однокопылов, Ю.Н. Дементьев, С.М. Семенов; Учебн.посо. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 207 с.

29. Терёхин В. Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учебное пособие / В. Б. Терёхин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 292 с.
30. Способ транспорта газа по магистральному газопроводу: патент Рос. Федерация № 2116558, заявл. 25.02.97; опубл. 27.07.98, Бюл. № 21.
31. ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
32. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
33. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие сангигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
34. СНиП 2.04. 05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
35. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
36. СНиП П-12-77. Защита от шума.
37. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01. 07. 92).
38. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003.
39. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. Обучение работающих безопасности труда.
40. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Защитное заземление, зануление».
41. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».
42. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных отходов».
43. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства».

44. Мельников М. А. Релейная защита и автоматика элементов систем электроснабжения промышленных предприятий: Уч. пособие. – Томск.: изд. ТПУ, 2004. – 178 с.

# Приложение А (справочное)

## Однолинейная схема электроснабжения объектов КС «Александровская» после модернизации

