

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Автоматизированный электропривод компрессорной установки азотной станции

УДК 62-83-52:622.691.4.05.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ1	Зинченко Иван Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев Игорь Александрович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	Ледовская Анна Михайловна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор, Руководитель ОЭЭ	Дементьев Юрий Николаевич	Ph.D, доцент		

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

_____ Ю.Н. Дементьев

(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
3-5ГЗБ1	Зинченко Иван Александрович

Тема работы:

Автоматизированный электропривод компрессорной установки азотной станции	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3245/с от 10.05.2018г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	23.05.2018г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	
Перечень графического материала	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
Социальная ответственность	

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

Заключение

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	17.04.2018г.
--	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев Игорь Александрович	к.т.н.		17.04.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ1	Зинченко Иван Александрович		17.04.2018г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОС- БЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗБ1	Зинченко Иван Александрович

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

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

1. Расчет стоимости электрооборудования, комплектующих, ЗИП, Винтового компрессора Atlas Copco GA22-13FF	Зарботная плата определяется исходя из тарифной ставки и коэффициентов, зависящих от различных условий: организация, регион. Страховые отчисления определяются согласно Федеральному закону от 27.11.2017 № 335-ФЗ Прочие и накладные расходы определяются исходя из суммы остальных статей расходов.
2. Продолжительность выполнения ПНР	Приблизительная оценка продолжительности выполнения ПНР составляет 10 календарных дней

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка потенциала и перспективности реализации ПНР с позиции ресурсоэффективность и ресурсосбережения	Оценка потенциала и перспективности реализации ПНР можно оценить с помощью SWOT-анализа и интегральной оценки ресурсоэффективности.
2. Планирование и формирование графика работ по реализации ПНР	Для составления графика технико-конструкторских работ используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным строится график инженерных работ, позволяющий лучше спланировать процесс реализации ПНР
3. Формирование сметы	В процессе формирования сметы ПНР используется следующая группировка затрат по статьям: <ul style="list-style-type: none"> • материальные затраты ПНР; • полная заработная плата исполнителей; • отчисления во внебюджетные фонды; • накладные расходы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ1	Зинченко Иван Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗБ1	Зинченко Иван Александрович

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Автоматизированный электропривод компрессорной установки азотной станции, Усть-Сильгинского газоконденсатного месторождения</i>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты) 	<p>Анализ вредных факторов:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Шум 2. Вибрация 3. Электромагнитное поле 4. Отклонение параметров микроклимата <p>Анализ опасных факторов:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Механические травмы 2. Поражение электрическим током
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ воздействия объекта на атмосферу: (Негативное воздействие на состояние атмосферного воздуха оказывают газообразные и аэрозольные выбросы) 2. Анализ воздействия на литосферу: (образование отходов, связанных с заменой комплектующих разрабатываемого оборудования).
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Наиболее типичная ЧС для рассматриваемой установки – авария с выбросом АХОВ;</p> <p>Пожар;</p> <p>Разработка мер безопасности во время эксплуатации разрабатываемого решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – по необходимому оснащению (первичные средства защиты, противоаварийной сигнализацией, – инструкция по безопасной эксплуатации установки для работников; – план эвакуации работников при пожаре.
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Случаи представления гарантий и компенсаций (в соответствии со ст. 165 ТК РФ); 2. Правила внутреннего трудового распорядка предприятия; 3. Разработка организационных мероприятий при компоновке рабочей зоны (в соответствии с эргономическими требованиями).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИИШНКБ	Ледовская Анна Михайловна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ1	Зинченко Иван Александрович		

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Компрессор предназначен для питания завода по производству азота.

Рассчитать электропривод компрессора со следующими параметрами:

Технические требования и условия

Режим работы – продолжительный, нагрузка реактивная;

- номинальная мощность двигателя $P_n = 22\text{кВт}$;

- номинальное фазное напряжение $U_{1н} = 220\text{ В}$;

- синхронная частота вращения $n_0 = 3000\text{об/мин}$;

Погрешность поддержания заданной частоты не более 10 % на нижней рабочей скорости.

Электродвигатель должен иметь закрытое исполнение со степенью защиты не ниже IP56.

Преобразователь должен быть предназначен для работы в закрытых стационарных помещениях при температуре окружающего воздуха от плюс 5 до плюс 45 °С и относительной влажности не более 80 %.

Система управления электропривода должна обеспечивать надежную защиту от перегрузок и аварий, простоту управления и обслуживания.

Сеть трёхфазная, $(380\pm 38)\text{ В}$, $(50\pm 1)\text{ Гц}$.

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 107 страниц, 35 рисунков, 11 таблиц, 74 используемых источников.

Объектом изучения является компрессорная установка для производства азота на азотной станции.

Цель работы – описание винтового компрессора для получения азота из воздуха с электроприводом - асинхронный электродвигатель управляемый частотным преобразователем и сбор необходимой информации для написания ВКР.

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

Произведен выбор электродвигателя винтового компрессора, его рабочие характеристики, а также устройство управления электроприводом –компании Danfoss.

В выпускной квалификационной работе произведён расчет и выбор электропривода и преобразователя частоты для управления компрессором.

Методом имитационного моделирования на ЭВМ исследованы переходные процессы.

В разделе Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение произведена оценка инвестиций в модернизацию компрессорной установки.

В разделе социальная ответственность рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности. Проанализированы опасные и вредные факторы производства.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word на листах белой бумаги формата А 4 с помощью программных средств Matlab, Mathcad и представлена на USB-флеш-накопители.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	9
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	10
1.1 Краткое описание азотной станции	10
1.2 Описание и работа составных частей компрессорной установки	13
1.3 Характеристика винтового компрессора	15
2. Устройство и принцип работы винтового компрессора	17
2.1 Расчет мощности винтового компрессора	21
2.2 Выбор электродвигателя для компрессора и расчет его параметров	23
2.2.1 Механическая система электропривода и её параметры	24
2.2.2 Расчет параметров схемы замещения электродвигателя	25
2.3 Расчет естественных характеристик электродвигателя	30
2.3.1 Расчет естественной механической характеристики	30
2.3.2 Расчет естественной электромеханической характеристики	32
2.3.3 Механическая характеристика компрессора	33
3 Обзор систем управления и способов регулирования электропривода	35
3.1 Системы управления электроприводом	35
3.2 Выбор преобразователя частоты	37
4 Расчет статических характеристик системы	41
преобразователь – двигатель при частотном регулировании	41
4.1 Механические характеристики системы преобразователь- двигатель при законе регулирования $U_1 / f_1^2 = \text{const}$	42
4.2 Электромеханические характеристики системы преобразователь- двигатель при законе регулирования $U_1 / f_1^2 = \text{const}$	45
5 Частотно-регулируемый асинхронный электропривод	48
компрессора со скалярным управлением	48
5.1 Силовой канал электропривода	48
5.2 Функциональная схема системы скалярного	52
частотного управления	52
5.3 Имитационные исследования частотно-регулируемого	58
асинхронного электропривода насоса со скалярным управлением	58
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	61
6.1 Структура проведения работ по модернизации	62
6.2 Планирование и организация пуско-наладочных работ	63
6.3 Планирование проведения пуско-наладочных работ	64

6.4	Планирование стоимости пуско-наладочных работ	67
6.3	Заработная плата бригады на пуско-наладочные работы.....	68
6.5	Расчёт экономии затрат на электроэнергию	71
6.6	Экономия электроэнергии составит	72
7	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	73
7.1	Введение	73
7.2	Производственная безопасность	74
7.3	Анализ выявленных вредных факторов	75
7.3.1	Отклонение показателей микроклимата.....	75
7.4	Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.....	78
7.5	Организационные мероприятия:	79
7.6	Технические мероприятия:	79
7.7	Эксплуатационные мероприятия:	80
7.8	Освещенность.	80
7.9	Произведем расчет освещенности.	81
7.10	Напряженность электромагнитного поля	83
7.11	Повышенный уровень шума на рабочем месте.....	84
7.12	Экологическая безопасность	84
7.13	Вещества, загрязняющие атмосферу	84
7.14	Основные загрязнители воздушной среды:	85
7.15	Источники и классификация атмосферного загрязнения.....	86
7.16	Воздействие на литосферу (Твердые отходы).....	88
7.17	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	90
7.18	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	98
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	101
	Список использованных источников.....	102

ВВЕДЕНИЕ

Установка комплексной подготовки газа и конденсата (УКПГ) Усть-Сильгинского газоконденсатного месторождения обеспечивает разделение пластовой газожидкостной смеси с последующей подготовкой газа до требований СТО Газпром 089-2010 и получение стабильного газового конденсата, подготовленного до требований качества по ОСТ 51.65-80 [1]. В административном отношении Усть-Сильгинское газоконденсатное месторождение находится на территории Каргасокского района Томской области.

Газоконденсатная смесь от кустов скважин по системе сбора газа поступает на УКПГ, где происходит разделение смеси на газ и конденсат, очистка от механических примесей и капельной влаги, подготовка газа и конденсата к дальнейшему транспорту. С УКПГ по газопроводу подключения через коммерческий узел учета газа поступает в систему газопроводов ОАО «Газпром Трансгаз Томск» (точка подключения на 383 км газопровода НППЗ-Парабель. Производительность установки комплексной подготовки газа и конденсата составляет 613,2 млн. м³/год по сырью.

Технология подготовки газа и конденсата газа к транспорту включает процесс подготовки азота на станции [1]. Ещё не так давно генерация азота была весьма дорогостоящим процессом, поскольку технология его получения требовала больших энергозатрат. Огромные криогенные камеры охлаждали сжатый воздух до критических температур, азот переходил в жидкое состояние, после чего отводился в специальные резервуары. Такой генератор азота могли позволить себе лишь большие институты и промышленные комбинаты. Время и технологии сделали своё, сейчас даже небольшие предприятия могут позволить себе не только генератор азота, но и полностью укомплектованную азотную станцию для нужд производства.

Электрический привод как основная часть промышленного оборудования потребляет более 50% вырабатываемой в стране энергии. Совсем недавно перспективным мероприятием по энергосбережению в электроприводе была замена нерегулируемого привода регулируемым.

На сегодняшний день инновационным моментом является применение преобразователей частоты в работе асинхронного двигателя. Это дает ряд преимуществ в оптимизации технологического процесса: плавный пуск, регулирование скорости, обеспечение защит и блокировок при работе оборудования, согласование нескольких исполнительных механизмов.

В данной работе рассматривается электропривод винтового компрессора, имеющий в своем составе асинхронный двигатель и частотный преобразователь.

1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1.1 Краткое описание азотной станции

Азот не имеет цвета и запаха, он не поддерживает горение и задерживает процессы окисления. Газообразный азот применяется в нефтегазовой промышленности для следующих задач: защита от пожара и пожаротушение, системы поддержания пластового давления, бурение с отрицательным дифференциальным давлением, ремонт скважин, использование для очистки трубопроводов и вытеснения продуктов из трубопровода, пневмоприводы ответственных задвижек на трубопроводах.

Внешний вид модульной азотной станции на УКПГ приведен на рис.1.1. Она предназначена для получения газообразного азота требуемой чистоты и давления [1].



Рисунок 1.1- Вид азотной станции

Основные компоненты азотной станции:

- Блок-бокс теплоизолированный, оборудованный системой климат-контроля, вентиляции, освещения, системой автоматического пожаротушения, пожаро-охранной сигнализацией.
- Воздушный компрессор для предварительного сжатия воздуха.
- Блок подготовки сжатого воздуха, включающий в себя: циклонный сепаратор, фильтр грубой очистки, осушитель (рефрижераторный/адсорбционный), фильтр тонкой очистки, угольная колонна и пылевой фильтр.
- Газоразделительный блок (мембранного типа серии ProNitron).
- Комплект запорно-регулирующей арматуры и трубопроводной обвязки в границах блок-бокса.

Комплекс средств автоматизации и управления азотной станции представляет собой устройства контроля, управления и сигнализации, размещаемых непосредственно на технологической части азотной станции, а также в шкафу управления системы автоматизации (СА).

Комплекс СА на базе панели-контроллера обеспечивает реализацию следующих функций:

- ✓ автоматизация пуска и останова азотной станции;
- ✓ автоматизация вывода азотной станции на рабочий режим;
- ✓ автоматическое поддержание заданного давления продукта;
- ✓ измерение и контроль качества продукта на выходе;
- ✓ измерение и контроль температуры в блок-боксе;
- ✓ контроль наличия электропитания компрессорных установок;
- ✓ измерение и контроль давления и расхода продукта;
- ✓ автоматические защиты, блокировки и сигнализации, предусмотренные алгоритмом работы азотной станции.

Все измерения выводятся на панель оператора (рис.1.2).

Комплектация станции позволяет эксплуатировать ее в летнее и зимнее время года в различных климатических районах. В состав азотной станции входят: блок для получения азота из воздуха, два ресивера для хранения азота. Оборудование станции монтируется в стандартных по габаритным размерам утеплённых контейнерах или блок-боксах с температурой эксплуатации от -50 до +50°C.

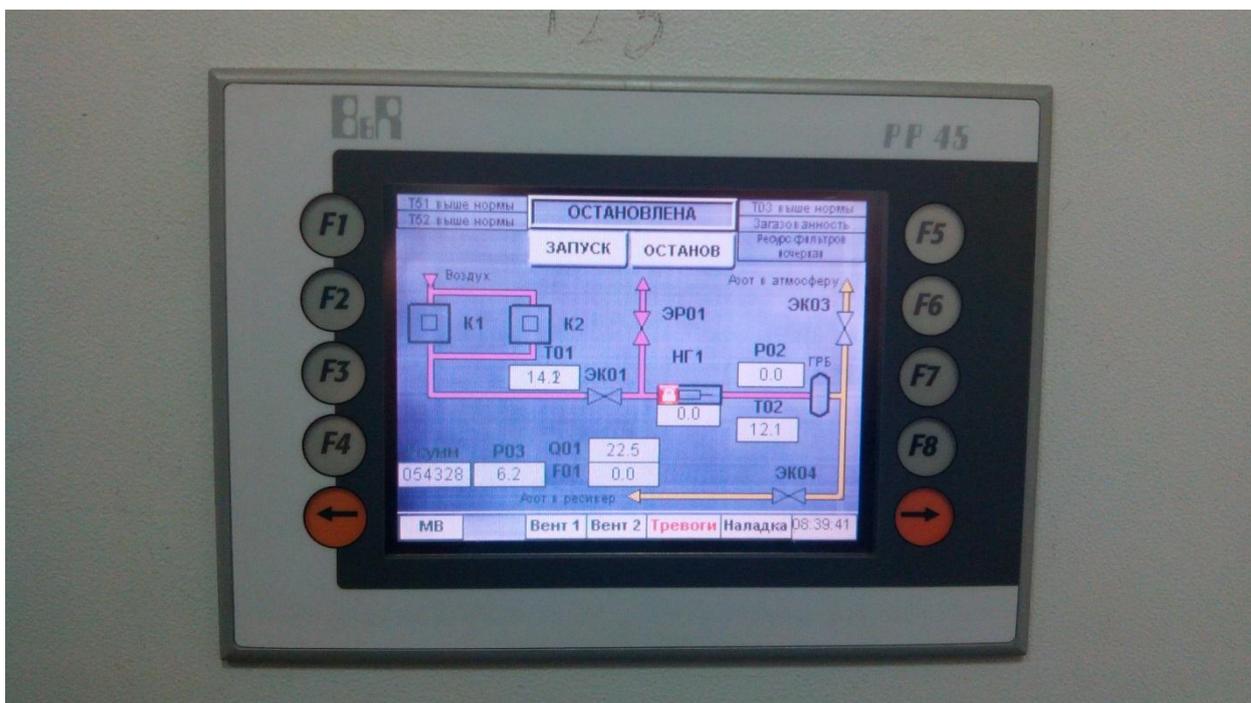


Рисунок 1.2 - Отображение компрессорной станции на панели оператора

1.2 Описание и работа составных частей компрессорной установки

Компрессорная установка производит забор воздуха с улицы и сжимает его до рабочего давления. Газораспределительный блок состоит из: трех каскадного воздушного фильтра, нагревателя и мембранных блоков. Трех каскадный воздушный фильтр очищает воздух от механических частиц. Нагреватель разогревает воздух до рабочей температуры. Мембранный блок отбивает и разделяет газовую среду.

Получение азота из атмосферы на этой установке производится по мембранной технологии. Суть ее в том, что, проходя по тонким трубкам (рисунок 1.3), воздух разделяется и более мелкие кислородные молекулы просачиваются сквозь стенки, а более крупные молекулы N достигают пункта назначения. Мембранный генератор азота (мембранная азотная установка) - представляет собой пучок пустотелых пористых трубок (по типу «спагетти»).

Поток сжатого воздуха проходит через трубки, и молекулы кислорода «просачиваются» через мелкие поры в стенках мембран.

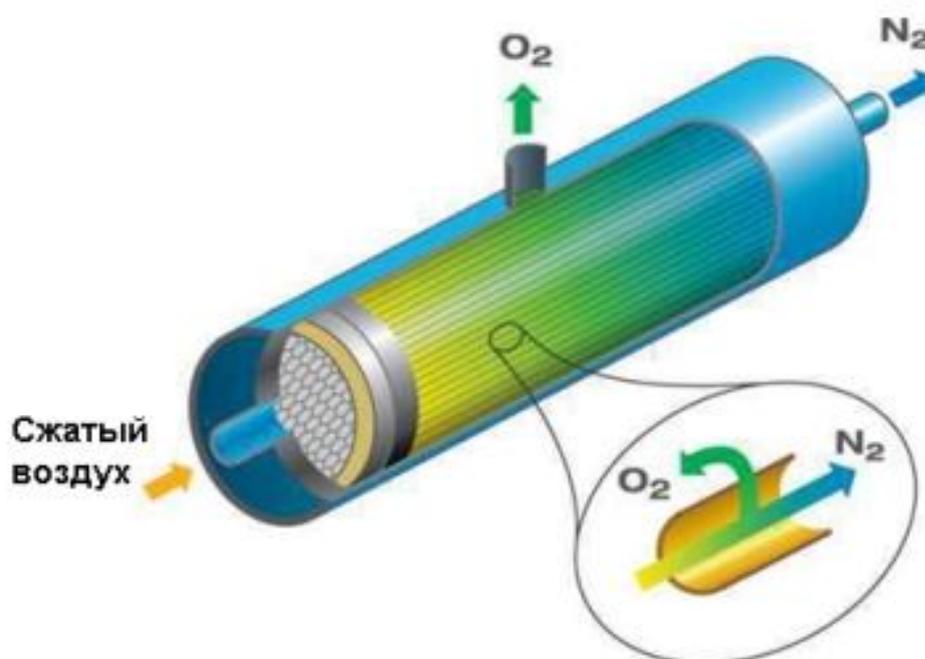


Рисунок 1.3 - Мембранный генератор азота

Молекулы азота имеют большие размеры, в связи, с чем, беспрепятственно проходят по всей длине.

Сжатый воздух, подающийся через входной штуцер каждого модуля, движется сквозь полые волокна, частично просачиваясь сквозь них и обогащаясь парами воды и кислородом. Смесь газов (насыщенная O_2) выводится из генератора в атмосферу через боковой штуцер.

Оставшаяся часть воздуха, по мере перемещения внутри волокон, обогащается N_2 (азотом) и выводится потребителю посредством выходного модуля мембранной азотной станции. При необходимости давление газа, производимого установкой, может быть повышено при помощи дожимного компрессора.

1.3 Характеристика винтового компрессора

Для сжатия и подачи воздуха под давлением применяется винтовой компрессор. Винтовой компрессор – это сложное техническое устройство. По сравнению с другими видами компрессоров с аналогичными показателями по производительности винтовой компрессор, имеет ряд неоспоримых преимуществ [4]:

1. Винтовой компрессор – это наиболее современное технологическое решение при выборе источника сжатого воздуха. В его конструкции используется более совершенное, с точки зрения технологии, устройство – винтовой блок. Качество производства винтовых блоков настолько велико, что предприятия-изготовители дают гарантию на их безотказную работу, как правило, в течение несколько лет.

2. Высокие эксплуатационные характеристики и эффективная система масляного охлаждения обеспечивают круглосуточный режим работы винтового компрессора при оптимальной температуре. Винтовой компрессор предназначен для интенсивной и продолжительной работы и может использоваться практически 24 часа в сутки.

3. Винтовые компрессоры значительно надежнее. Среднее время наработки на отказ у винтовых компрессоров в связи с более совершенной конструкцией значительно больше, чем у других видов компрессоров.

4. Срок эксплуатации винтовых компрессоров гораздо больше остальных видов компрессоров. Это связано с тем, что в винтовых компрессорах меньше трущихся деталей и они более совершенны, что позволяет значительно реже производить их замену.

5. Для винтового компрессора нет необходимости в установке ресивера большой емкости. В процессе эксплуатации они не создают большие пульсации давления.

6. Использование винтового компрессора позволяет экономить электрическую энергию. Это связано с тем, что его КПД составляет до 95% (для

сравнения, КПД поршневого компрессора 60-80%). Винтовые компрессоры имеют более совершенную систему регулирования производительности вырабатываемого воздуха. То есть, они имеют возможность вырабатывать именно столько воздуха, сколько в данный момент потребляет оборудование.

Кроме того, применение компрессора с изменяемой частотой вращения электродвигателя («с частотным приводом») позволяет дополнительно экономить до 30% затрат на электроэнергию. Достигается это при помощи частотного преобразователя, регулирующего частоту вращения двигателя. В момент своей работы установка с частотным приводом отслеживает давление в системе, сопоставляя его с запрограммированным показателем. При обнаружении несовпадения значений скорость вращения двигателя винтового компрессорного оборудования увеличивается, либо уменьшается. При этом он потребляет только определенное количество энергии, необходимое для сжатия требуемого в данное время количества воздуха.

Таким образом, экономя энергию, сокращается срок окупаемости компрессора до одного - двух лет, в зависимости от тарифов на электроэнергию и потребления воздуха.

Положительным моментом использования компрессора с частотным преобразователем является «Система плавного пуска», которая продлевает срок службы двигателя, винтовой пары и избавляет от скачков напряжения в заводской сети при пуске компрессора. Кроме того, «Система плавного пуска» позволяет запускаться двигателю неограниченное количество раз (в сутки) и в эти периоды времени дополнительно сберегается электроэнергия [4].

Современный рынок представлен большим ассортиментом винтовых компрессоров различной модификации и комплектации. Поэтому знаменитые производители Германии (фирма ALUP), Италии (фирма АВАС), фирма Atlas Copco (Канада), а также Белоруссии (REMEZA) и России (компания ООО «ТехМаш») представляют отличное качество изготовленной продукции.

Остановим свой выбор на компрессоре фирмы Atlas Copco [5]. Фирма Atlas Copco использует в своих компрессорах собственную запатентованную конструкцию профиля винтовой пары, высокие эксплуатационные характеристики и эффективная система масляного охлаждения которой обеспечивают круглосуточный режим работы винтового компрессора при оптимальной температуре.

Компрессоры Atlas Copco GA22-13FF – это модульный винтовой компрессор, спроектированный специально для нефтегазовой промышленности.. Герметичный корпус устройства изготовлен таким образом, чтобы снижать вибрацию и шум, а также отталкивать грязь. Все модели компрессоров Atlas Copco оснащены микропроцессорным блоком управления MC2 на русском языке, обеспечивающим управление и контроль всех компонентов компрессорной станции в автоматическом режиме реального времени с выводом на дисплей параметров его работы.

Внешний вид компрессорной установки Atlas Copco представлен на рисунке 1.4 [5].



Рисунок 1.4 – Внешний вид компрессорной установки Atlas Copco

2. Устройство и принцип работы винтового компрессора

Устройство винтового компрессора показано на рисунке 2.1 [4]

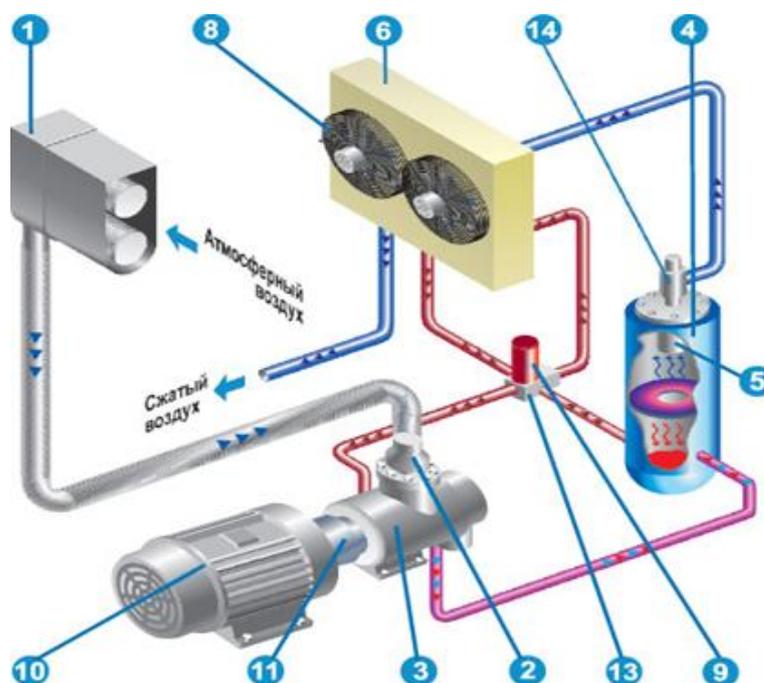


Рисунок 2.1 - Устройство винтового компрессора

Условные обозначения, принятые на рисунке 2.1:

1 Воздушный фильтр. 2 Впускной клапан. 3 Винтовой блок. 4 Маслобак (первичный сепаратор). 5 Внутренний сепаратор. 6 Комбинированный радиатор. 8 Вентилятор радиатора с электродвигатель. 9 Масляный фильтр. 10 Главный электродвигатель. 11 Прямая передача (муфта). 13 Термостатический клапан. 14 Клапан минимального давления.

Атмосферный воздух через воздушный фильтр (1) и впускной клапан (2) поступает в винтовой блок (3), который является сердцем винтового компрессора. Здесь он смешивается с маслом, для охлаждения и уплотнения зазоров, циркулирующим по замкнутому контуру, и образовавшаяся воздушно-масляная смесь нагнетается с помощью винтового блока в пневмосистему. Первичное разделение масла и воздуха происходит в маслобаке (4). Предварительно очищенный от масла воздух проходит доочистку в сепараторе тонкой очистки или во встроенном внутреннем сепараторе (5).

Затем через охлаждающий комбинированный радиатор (6) сжатый воздух поступает на выход компрессора. Основной поток масла из маслобака возвращается в винтовой блок через масляный фильтр (9). Масло, в зависимости от температуры, проходит либо по малому кругу, либо по большому кругу через комбинированный радиатор (6). Регулировка осуществляется с помощью термостата, встроенного в комбинированный блок (12) либо термостатическим клапаном (13). Отделившееся масло в сепараторе тонкой очистки (5) отводится в винтовой блок (3). Винтовой блок (3) приводится в движение главным электродвигателем (10) посредством ременной (прямой) передачи (11). Комбинированный радиатор (6) обдувается воздухом с помощью вентилятора (8).

Важнейший элемент винтового компрессора – винтовой блок, состоящий из двух червячных роторов, находящихся в зацеплении. Один из роторов – ведущий, другой – ведомый. Винтовой блок компрессора представлен на рисунке 2.2.

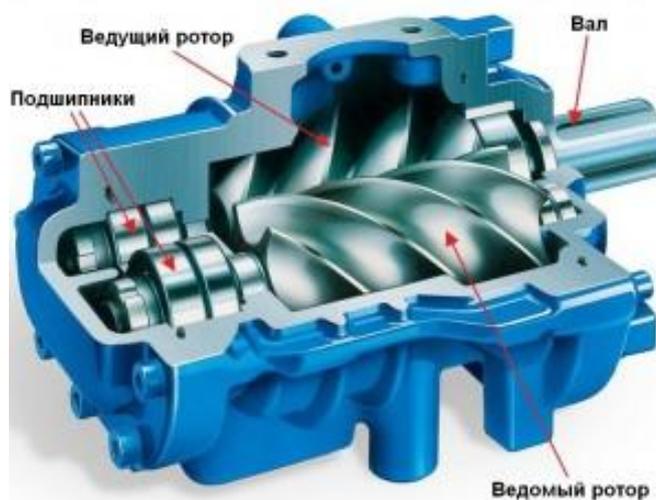


Рисунок 2.2 - Винтовой блок компрессора

Двигатель вращает винтовую пару через систему привода. Предварительно очищенный во впускном воздушном фильтре воздух попадает в винтовую пару, смешивается с маслом, подаваемым в полость сжатия. Масло

обеспечивает масляный клин между зубьями роторов винтовой пары (отсутствует касание винтов), зазор между роторами и корпусом уплотняется, воздух сжимается, при этом масло отводит выделяющееся тепло, а механизмы смазываются. Образовавшаяся воздушно-масляная смесь сжимается в винтовом блоке и поступает в воздушно-масляную емкость, где происходит сепарация (отделение) масла от воздуха. Воздух после охлаждения поступает на выход винтового компрессора, а масло после охлаждения в масляном радиаторе и дополнительной фильтрации в масляном фильтре вновь возвращается в винтовой блок.

После процесса всасывания, пространство между поверхностью винтов роторов, корпусом винтового блока уменьшается, при этом не происходит отток воздуха из межзубного пространства. Данный процесс называется сжатием. Роторы продолжают вращаться и своими зубьями, постепенно перемещают данный объем к выпускному отверстию. Так выглядит процесс перемещения.

В процессе перемещения уменьшающееся пространство движется к выпускному отверстию, а воздух внутри него постепенно сжимается и давление быстро поднимается. Так осуществляется процесс сжатия, в ходе которого смазочное вещество впрыскивается в полость сжатия, а затем перемещается с воздухом под воздействием давления.

В процессе сближения лопастей ротора с корпусом машины, давление достигает наивысшего значения, сжатый воздух продолжает выходить до тех пор, пока сопряженная поверхность движется к выпускным полостям. Пространство между зубьями пропадает напротив выпускной полости.

2.1 Расчет мощности винтового компрессора

Технические данные компрессора компрессоры Atlas Copco GA22-13FF приведены в таблице 2.1[5].

Таблица 2.1 - Технические данные компрессора

<i>Технические характеристики установки</i>	
Производительность установки, м ³ /мин	3
Рабочая среда	азот
Рабочее давление, МПа	0,8
Чистота производимого азота, не менее, %	не ниже 99
Тип воздухоразделения	мембранный
Назначение установки	для технологических целей
<i>Общие данные</i>	
Область применения азота	Для продувки технологического оборудования
Требуется ли регулировка чистоты газа	нет
Пыле-влагозащищенность	да
Привод компрессора станции	электрический
Размещение установки	Стационарный блок-укрытие (блок-бокс)
<i>Данные по блоку-укрытию</i>	
Габаритные размеры блока, мм; длина	6060
ширина	2440
Вентиляция	естественная
Отопление	электронагреватели воздуха с автоматическим регулированием температуры
Контроль и автоматизация	Автоматизация обеспечивает непрерывную работу станции без постоянного присутствия персонала.

Винтовой компрессор работает с производительностью $Q=3 \text{ м}^3/\text{мин}$. Рабочая среда – воздух при температуре $t=20^0 \text{ С}$. Сжатие воздуха в компрессоре происходит от давления $P_1=0,1 \text{ мПа}$ до давления $P_2=0,8 \text{ мПа}$. Принимаем, что величина обратных протечек $\beta_{\text{пр}}$ в компрессоре составляет $0,02$. Внутренний адиабатический КПД компрессора $\eta_{\text{ад}}$ равен $0,8$, а механический КПД $\eta_{\text{мех}}$ равен $0,95$. При расчетах показатель адиабаты воздуха k принимаем равным $1,4$, а величину газовой постоянной для воздуха R выбираем равной $286 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

η_k - КПД компрессора, учитывающий потери мощности при реальном процессе сжатия воздуха и равный $0,6 - 0,8$;

$\eta_{\text{п}}$ - КПД механической передачи между компрессором и двигателем, его значения лежат в пределах $0,9 - 0,95$.

Производительность компрессора - это объём воздуха (при атмосферном давлении), сжимаемого в единицу времени.

Принимаем, что процесс сжатия воздуха в компрессоре происходит по адиабатическому процессу [3]. Адиабатический процесс - это такое изменение состояний газа, при котором он не отдает и не поглощает извне теплоты. Следовательно, адиабатический процесс характеризуется отсутствием теплообмена газа с окружающей средой. Адиабатическими можно считать быстро протекающие процессы. То есть, адиабатное сжатие газа сопровождается его нагреванием.

Определим значение удельной работы компрессора $A_{\text{уд}}$ адиабатического сжатия 1 м^3 атмосферного воздуха от давления $P_1=0,1 \text{ мПа}$ до давления $P_2=0,8 \text{ мПа}$.

$$A_{\text{уд}} = R_{\text{воз}} \cdot T_{\text{воз}} \cdot [k/(k-1)] \cdot [(P_2/P_1)^{(k-1)/k} - 1] = \\ = 286 \cdot 293 \cdot [1,4/(1,4-1)] \cdot [(0,8/0,1)^{(1,4-1)/1,4} - 1] = 238307,6 \text{ Дж}/\text{кг} \quad (2.1)$$

Далее вычислим массовый расход воздуха G положив, что при температуре 20°C плотность воздуха $\rho_{\text{в}}$ составляет $1,2 \text{ кг/м}^3$

$$G = Q \cdot \rho_{\text{в}} = 3 \cdot 1,2 = 3,6 \text{ кг/мин} .$$

При расчете мощности компрессора необходимо учитывать наличие в нем обратных протечек рабочей среды, компенсация которых влечет за собой дополнительный расход мощности. Рассчитаем суммарный расход компрессора $G_{\text{сум}}$ с учетом обратных протечек

$$G_{\text{сум}} = G \cdot (1 + \beta_{\text{пр}}) = 3,6 \cdot (1 + 0,02) = 3,67 \text{ кг/мин} ,$$

где $\beta_{\text{пр}} = 0,02$ – коэффициент обратных протечек.

Теперь становится возможным определение мощности компрессора с учетом адиабатического и механического КПД [3]

$$P_{\text{комп}} = k_3 \frac{G_{\text{сум}} \cdot A_{\text{уд}} \cdot 10^{-3}}{60 \cdot \eta_{\text{ад}} \cdot \eta_{\text{мех}}} = 1,1 \frac{3,67 \cdot 238307,6 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 0,8 \cdot 0,95} = 21,1 \text{ кВт}, \quad (2.2)$$

где $k_3 = 1,1$ – коэффициент запаса.

2.2 Выбор электродвигателя для компрессора и расчет его параметров

Электропривод компрессора работает в режиме $S1$ – продолжительная работа с постоянной нагрузкой. Поэтому двигатель для компрессора по мощности выбирается из условия работы механизма с максимальной производительностью.

Выбираем асинхронный двигатель (АД) типа АИР180S2 УЗ, для которого выполняется условия: $P_{\text{дв.н}} = 22 \text{ кВт} \geq P_{\text{комп}} = 21,1 \text{ кВт}$.

Технические характеристики электродвигателя АИР180S2 УЗ [6]:

- номинальная мощность двигателя $P_{\text{н}} = 22 \text{ кВт}$;
- номинальное фазное напряжение $U_{\text{1н}} = 220 \text{ В}$;

- номинальное скольжение $s_i = 0,02$;
- номинальный КПД $\eta_i = 0,9$;
- номинальный коэффициент нагрузки $\cos \phi_i = 0,9$;
- число полюсов $p = 2$;
- синхронная частота вращения $n_0 = 3000 \text{ об/мин}$;
- кратность пускового тока $k_i = I_{\text{п}}/I_{1\text{н}} = 7,5$;
- кратность максимального момента $k_{\text{max}} = M_{\text{к}}/M_{\text{н}} = 2,3$;
- кратность пускового момента $k_{\text{п}} = M_{\text{п}}/M_{\text{н}} = 2,0$;
- кратность минимального момента $k_{\text{min}} = M_{\text{min}}/M_{\text{н}} = 1,6$;
- момент инерции на валу двигателя $J_{\text{дв}} = 0,062 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

2.2.1 Механическая система электропривода и её параметры

Расчетная схема замещения механической системы электропривода компрессора может быть представлена в виде одномассовой системы (рисунок 2.3) [7].

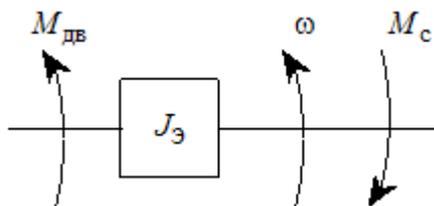


Рисунок 2.3 - Расчетная схема механической системы привода

На схеме рисунке 2.3 приняты следующие обозначения:

$M_{\text{дв}}$ – вращающий момент, развиваемый на валу электродвигателя, Н·м;

$M_{\text{с}}$ – момент нагрузки с учетом потерь в механизме, приведенный к валу двигателя, Н·м;

ω – угловая скорость, рад/с ;

$J_э$ – эквивалентный момент инерции привода, приведенный к валу двигателя, кг·м².

Эквивалентный момент инерции привода

$$J_э = J_{дв} + k \cdot J_{дв} = 0,062 + 0,5 \cdot 0,062 = 0,093 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где $k = 0,5$ – коэффициент, учитывающий момент инерции соединительной муфты и винта компрессора.

2.2.2 Расчет параметров схемы замещения электродвигателя

Для расчета электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя необходимо воспользоваться его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения. Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является T-образная схема замещения, рисунок 2.4.

Расчет параметров схемы замещения производим методом, приведенном в [8] с использованием каталожных данных. Погрешность данного метода не превосходит 15%, что вполне допустимо для инженерной практики.

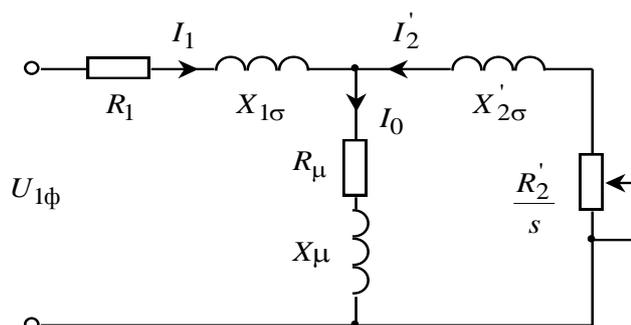


Рисунок 2.4 – Схема замещения АД

На рисунке 2.4 схемы замещения имеются следующие параметры:

- $U_{1\phi}$ – фазное напряжение подводимое к обмотке статора двигателя;
- I_1 – ток обмотки статора;
- R_1 – активное сопротивление обмотки статора;

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

Определим дополнительные параметры асинхронного двигателя по каталожным данным.

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

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

Номинальный ток статора

$$I_{1\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{3 \cdot U_{1\text{н}} \cdot \cos \phi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{22 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0.9 \cdot 0.9} = 41 \text{ А}.$$

Синхронная угловая частота вращения электромагнитного поля

$$\omega_0 = \frac{\pi}{30} \cdot n_{\text{н}} = \frac{\pi}{30} \cdot 3000 = 314,16 \text{ рад/с}.$$

Номинальная частота вращения и угловая скорость вращения двигателя

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

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - s_{\text{н}}) \cdot \omega_0 = (1 - 0,02) \cdot 314,16 = 307,88 \text{ рад/с}.$$

Номинальный момент на валу двигателя

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{22 \cdot 10^3}{307,88} = 71,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Ток статора двигателя при частичной нагрузке

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_i}{3 \cdot U_{1i} \cdot \cos \phi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0,75 \cdot 22 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,88 \cdot 0,9} = 31,56 \text{ А},$$

где $p_* = \frac{P}{P_H} = 0,75$ - коэффициент загрузки двигателя;

$\cos \varphi_{p_*} = 0,88$ - коэффициент мощности при частичной нагрузке;

$\eta_{p_*} = \eta_i = 0,9$ - КПД двигателя при частичной нагрузке.

Ток холостого хода двигателя при частичной нагрузке

$$I_{0z} = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - [p_* \cdot I_{1i} \cdot (1 - s_i) / (1 - p_* \cdot s_i)]^2}{1 - [p_* \cdot (1 - s_i) / (1 - p_* \cdot s_i)]^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{31,56^2 - [0,75 \cdot 41 \cdot (1 - 0,02) / (1 - 0,75 \cdot 0,02)]^2}{1 - [0,75 \cdot (1 - 0,02) / (1 - 0,75 \cdot 0,02)]^2}} = 16,5 \text{ A}.$$

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения

$$s_k = s_i \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{(k_{\max})^2 - [1 - 2 \cdot s_i \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_i \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,02 \cdot \frac{2,3 + \sqrt{(2,3)^2 - [1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 2,23 \cdot (2,3 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 2,23 \cdot (2,3 - 1)} = 0,1,$$

где β – коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора. Значение коэффициента β , согласно [6], находится в диапазоне $0,6 \div 2,5$. Согласно разработанной на кафедре программе Rep_AD_RL2 находим: $\beta = 2,21$.

Тогда

$$\beta = R_1 / (C_1 \cdot R_2');$$

$$C_1 = 1 + \frac{I_{0z}}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{12,29}{2 \cdot 7,5 \cdot 41} = 1,02.$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора двигателя

$$R_2' = \frac{1}{(\beta + 1/s_k) \cdot C_1} \cdot \frac{m \cdot U_{1н}^2 \cdot (1 - s_n)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_n} = \frac{1}{(2,21 + 1/0,1) \cdot 1,02} \cdot \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,02)}{2 \cdot 1,02 \cdot 2,3 \cdot 22 \cdot 10^3} = 0,11 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статорной обмотки

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,02 \cdot 0,11 \cdot 2,21 = 0,25 \text{ Ом.}$$

Параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0,1^2) - 2,21^2} = 9,66.$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$X_{кн} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 9,66 \cdot 1,02 \cdot 0,11 = 1,1 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной

$$X_{2\delta}' = 0,58 X_{кн} / C_1 = 0,58 \cdot 1,1 / 1,02 = 0,625 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки

$$X_{1\delta} = 0,42 X_{кн} = 0,42 \cdot 1,1 = 0,46 \text{ Ом.}$$

По найденным значениям параметров C_1, R_2', R_1 и $X_{кн}$ определим критическое скольжение

$$s_{кр} = \frac{C_1 \cdot R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}} = \frac{1,02 \cdot 0,11}{\sqrt{0,25^2 + 1,1^2}} = 0,1.$$

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

$$E_1 = \sqrt{(U_{1н} \cdot \cos \varphi_n - I_{1н} \cdot R_1)^2 + (U_{1н} \cdot \sin(\arccos(\cos \varphi_n)) - I_{1н} \cdot X_{1н})^2} = \\ = \sqrt{(220 \cdot 0,9 - 41 \cdot 0,25)^2 + (220 \cdot 0,436 - 41 \cdot 16,5)^2} = 202,8 \text{ В.}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_0} = \frac{202,8}{12,29} = 16,5 \text{ Ом.}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{16,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,052 \text{ Гн.}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{1\delta} = \frac{X_{1\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,46}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,00147 \text{ Гн.}$$

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

$$L'_{2\delta} = \frac{X'_{2\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,625}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,002 \text{ Гн.}$$

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

Таблица 2.2 - Параметры схемы замещения электродвигателя АИР 180S2

R_1 , Ом	$X_{1\delta}$, Ом	$L_{1\delta}$, Гн	X_{μ} , Ом	L_{μ} , Гн	R'_2 , Ом	$X'_{2\delta}$, Ом	$L'_{2\delta}$, Гн	$X_{кн}$, Ом
0,25	0,46	0,00147	16,5	0,053	0,11	0,625	0,002	1,1

Проверим адекватность расчетных параметров двигателя [7].

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя $M^*_{\text{эм.н}}$ и $M^{**}_{\text{эм.н}}$

$$M_{\text{эм.н}}(s_H) = M^*_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[(X_{кн})^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_H \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \quad (2.2)$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,11}{314,16 \cdot 0,02 \cdot \left[1,1^2 + \left(0,25 + \frac{0,11}{0,02} \right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 0,11}{0,02 \cdot 16,5} \right)^2 \right]} = 73,29 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_{\mu}}{(L_{\mu} + L_{2\delta})} \cdot \Psi_{2\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{н}}^2 - I_{0z}^2} =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot \frac{0,052}{(0,052 + 0,002)} \cdot 0,913 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{41^2 - 12,29^2} = 73,28 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где $\Psi_{2\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_{0z} \cdot L_{\mu} = \sqrt{2} \cdot 12,29 \cdot 0,053 = 0,913 \text{ Вб}$.

Должны выполняться два условия [7]

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

$$73,46 < 73,29 \leq (1,1 \cdot 73,29) = 78,6;$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} \approx M_{\text{эм.н}}^*; \quad 73,29 \approx 73,28.$$

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

2.3 Расчет естественных характеристик электродвигателя

Расчет естественных характеристик проводится с целью оценки степени совпадения параметров основных характерных точек расчетных естественных характеристик электродвигателя с параметрами двигателя определенными по справочным техническим данным выбранного электродвигателя [7].

2.3.1 Расчет естественной механической характеристики

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

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

Задаемся скольжением в пределах $s = 0.01, 0.02, \dots, 1$ и рассчитываем по программе *Mathcad* естественную механическую характеристику $\omega(M)$ (рисунок 2.3), где $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$.

Номинальное значение электромагнитного момента двигателя, по выражению (2.2) $M_{\text{эм.н}} = 73,29 \text{ Нм}$

Также рассчитываем критическое скольжение

$$s_k = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu}\right)^2}{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} = 0,735 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{0,25}{16,5}\right)^2}{0,25^2 + 1,1^2}} = 0,098$$

и электромагнитного критического момента

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

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{314,16 \cdot 2 \cdot \left[0,25 + \sqrt{(0,25^2 + 1,1^2) \cdot \left(1 + \frac{0,25}{16,5}\right)^2} \right]} = 164,45 \text{ Нм.}$$

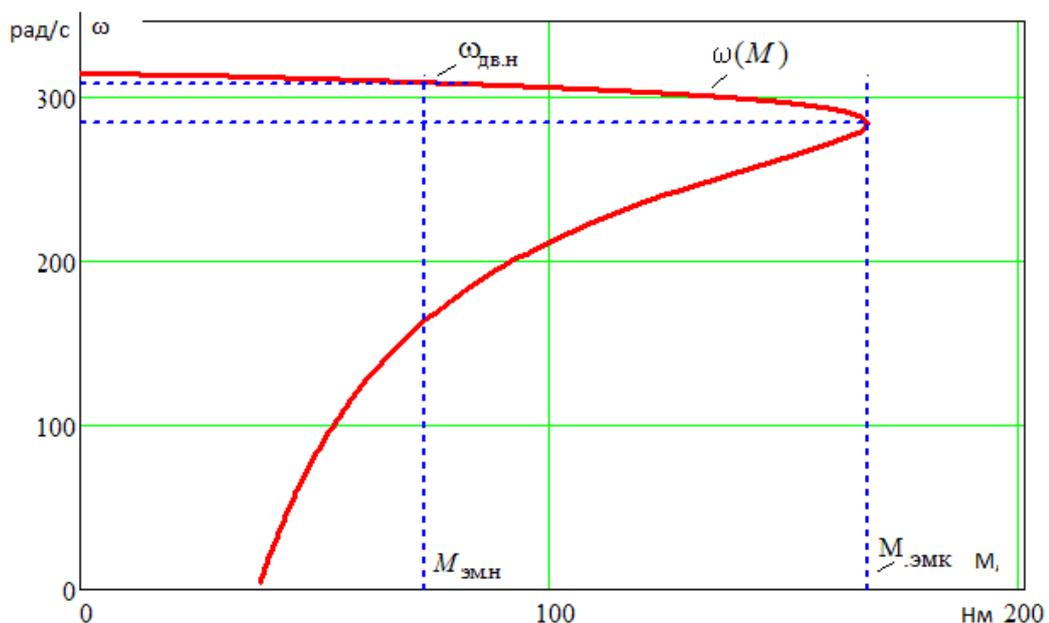


Рисунок 2.5 – Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя

2.3.2 Расчет естественной электромеханической характеристики

Естественные электромеханические характеристики токов статора $I_1 = f(s)$ и ротора $I_2' = f(s)$, $I_1(s)$ электродвигателя рассчитывается для значения частоты $f_{\text{н}} = f_{1\text{н}} = 50$ Гц по выражению

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)}, \quad (2.3)$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\text{фн}}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{\text{кн}})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}})^2}}; \quad (2.4)$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{\text{кн}})^2}}. \quad (2.5)$$

По вышеприведенным выражениям для скольжений $s = 1$ и $s \rightarrow 0$ рассчитываются значения тока статора $I_1(s_{\text{н}})$ и тока холостого хода I_0

$$I_0 = \frac{U_{1\text{фн}}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\delta} + X_{\mu})^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,25^2 + (0,00147 + 16,5)^2}} = 12,97 \text{ А},$$

$$\begin{aligned} I_1(s_i) &= \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)} = \\ &= \sqrt{12,97^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot 12,97 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)}, \text{ А}, \end{aligned}$$

Задаемся скольжением в пределах $s = 0.01, 0.02, \dots, 1$ и рассчитываем по выражениям (2.3) – (2.5) по программе *Mathcad* естественные электромеханические характеристики токов статора $I_1 = f(\omega)$ и ротора $I_2' = f(\omega)$, приведенные на рисунке 2.4, где $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$.

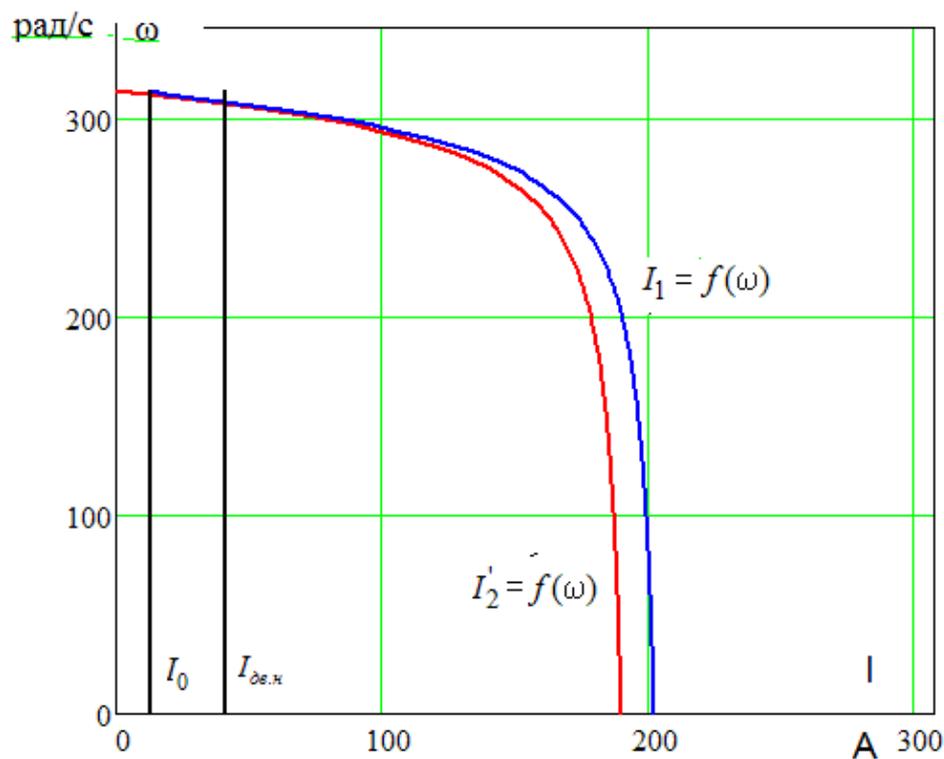


Рисунок 2.6 – Естественные электромеханические характеристики асинхронного электродвигателя

Сравнив значения расчетных параметров характерных точек естественных характеристик двигателя с его справочными данными и рассчитанными в главе 2, можно сделать вывод об адекватности расчетных параметров схемы замещения двигателя.

2.3.3 Механическая характеристика компрессора

Из принципа работы винтового компрессора можно предположить, что с некоторым приближением можно принять, что между моментом на валу компрессора и скоростью существует зависимость $M = c\omega^2$, т.е. зависимость имеет «вентиляторный» характер [7].

Момент от сил трения на валу электродвигателя можно принять постоянным и равным

$$\Delta M_{с\ д\ в} = M_{э\ м\ н} - M_{д\ в\ н} = 73,29 - 71,5 = 1,79 \text{ Нм.} \quad (2.4)$$

Для механизма с «вентиляторным» типом нагрузки, статический момент сопротивления на валу двигателя $M_c(\omega)$ изменяется в зависимости от скорости вращения двигателя в соответствии с выражением [7]

$$\begin{aligned} M_c(\omega) &= \Delta M_{с\ д\ в} + (M_{с.\max} - \Delta M_{с\ д\ в}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{д\ в.\ н}} \right)^2 = \\ &= 1,79 + (73,29 - 1,79) \cdot \left(\frac{\omega}{307,88} \right)^2, \end{aligned} \quad (2.5)$$

где $M_{с.\max} = M_{э\ м\ н} = 73,29$ Нм - момент нагрузки при скорости вращения $\omega_{д\ в.\ н} = 307,88$ рад/с, равный номинальному электромагнитному моменту двигателя.

Механические характеристик полного момента сопротивления на валу двигателя, соответствующих механическим характеристикам компрессора, приведены на рисунке 2.7

Из анализа приведённых на рисунке 2.7 характеристик следует, что электродвигатель АИР 180S2 обеспечивает требуемое значение максимальной скорости компрессора $\omega_{д\ в.\ н} = 307,88$ рад/с, длительную работу при максимальном моменте нагрузки и более чем двукратную перегрузку по моменту.

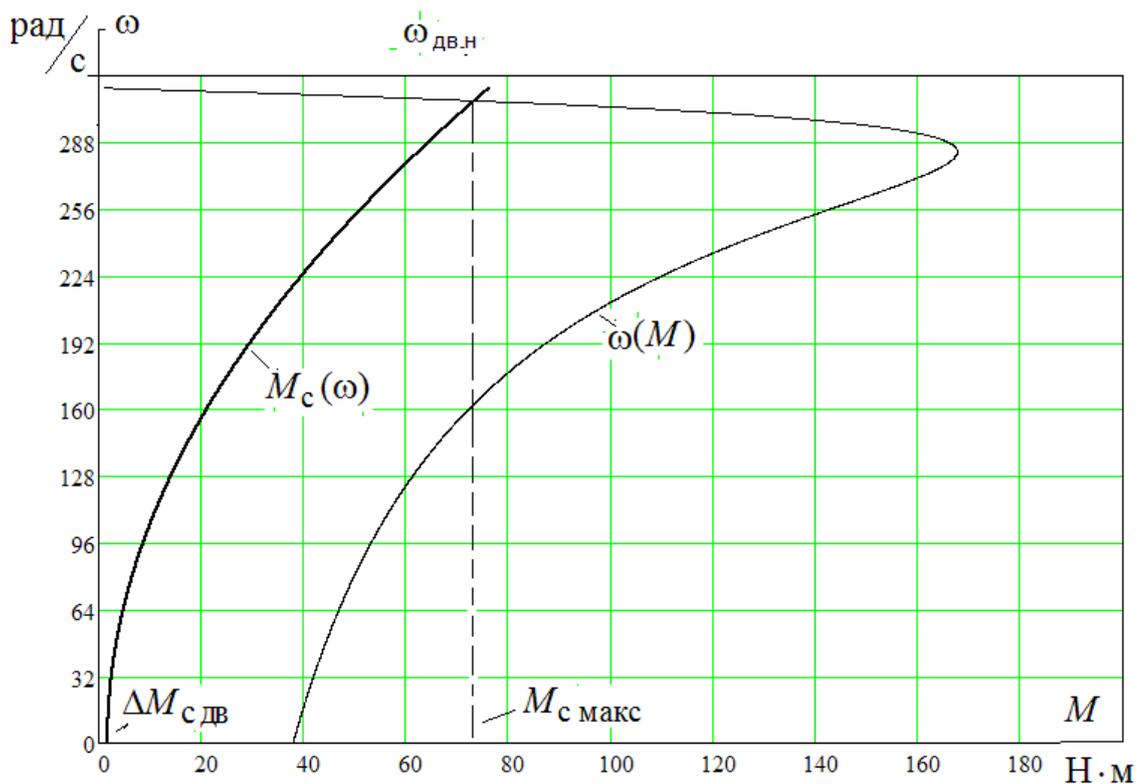


Рисунок 2.7 - Естественная механическая характеристика двигателя $\omega(M)$ и характеристики полного момента сопротивления на валу двигателя $M_c(\omega)$

3 Обзор систем управления и способов регулирования электропривода

3.1 Системы управления электроприводом

С целью повышение общего ресурса, бесперебойной эксплуатации компрессора необходимо, чтобы рост давления внутри компрессора происходил медленно, винтовая группа разгонялась плавно, без резких изменений вращающего момента, тем самым все нагруженные элементы (ремни, муфты, подшипники) не испытывали максимальных нагрузок необходимо изменение угловой скорости приводного двигателя. Поэтому актуально решение задачи выбора системы управления электроприводом (СУЭП) для максимального повышения эффективности работы и производительности технологического оборудования [7].

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

Выбор способа и принципа управления производится на основании требований к регулированию скорости и показателям качества регулирования: диапазону регулирования, плавности, точности поддержания заданной скорости. Обязательно учитываются динамические показатели качества процесса регулирования: быстродействие, перерегулирование и др. Кроме того, при выборе системы управления электроприводом обязателен учет характера нагрузки, создаваемой рабочим механизмом. Частотное управление электродвигателями осуществляется двумя основными способами [7].

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

Векторный принцип управления базируется на принудительной взаимной ориентации векторов потокосцеплений и токов АД в полярной или декартовой системах координат в соответствии с заданным законом регулирования. За счет регулирования модулей переменных и углов между их векторами обеспечивается управление АД как в статике, так и в динамике, обеспечивая тем самым заметное улучшение качества переходных процессов. Именно этот факт является определяющим при выборе системы с векторным

управлением и находит применение в электроприводах со средней и высокой динамикой. Приводы таких механизмов как компрессоры занимают промежуточное положение между высокодинамичными, динамичными и низкодинамичными.

Поскольку скалярное управление позволяет получить искусственные механические характеристики с требуемой жесткостью и, учитывая преимущества этого вида управления, можно сделать вывод, что данный способ управления может быть применён при проектировании СУЭП по системе ПЧ-АД компрессорной установки [7].

3.2 Выбор преобразователя частоты

Преобразователь частоты выбирается из условий:

$$P_{\text{дв}} \leq P_{\text{ПЧ}} ; I_{\text{дв}} \leq I_{\text{ПЧ}} .$$

Для двигателя мощностью $P_{\text{дв}} = 22 \text{ кВт}$ и номинальным током $I_{\text{ном}} = 41 \text{ А}$ выбираем преобразователь частоты серии VLT 2800 фирмы Danfoss (типичные применения: центробежные насосы и вентиляторы), имеющий следующие параметры [9]:

- выходной ток $I_{\text{вых}} = 39 \text{ А}$;
- максимальный ток (60 с) $I_{\text{макс}} = 70,2 \text{ А}$;
- полная выходная мощность $S_{\text{вых}} = 25 \text{ кВА}$;
- активная номинальная мощность $P_{\text{вых}} = 22 \text{ кВт}$;
- выходная частота $f_1 = 0,2 \div 132 \text{ Гц}$;
- разрешение по частоте 0,013 Гц;
- диапазон регулирования скорости вращения (разомкнутая система) D=10:1.

Контрольные входы и выходы:

- 5 цифровых входов для функций старт/стоп, сброс, подключение термистора и др;
- 2 аналоговых входа для сигналов задания и обратной связи;
- 1 цифровой выход и 1 аналоговый выход;
- 1 релейный выход для сигнализации состояния и ошибок;
- RS-485 для полного контроля и управления приводом.

На рисунке 3.1 представлен внешний вид преобразователей частоты серии VLT 2800.

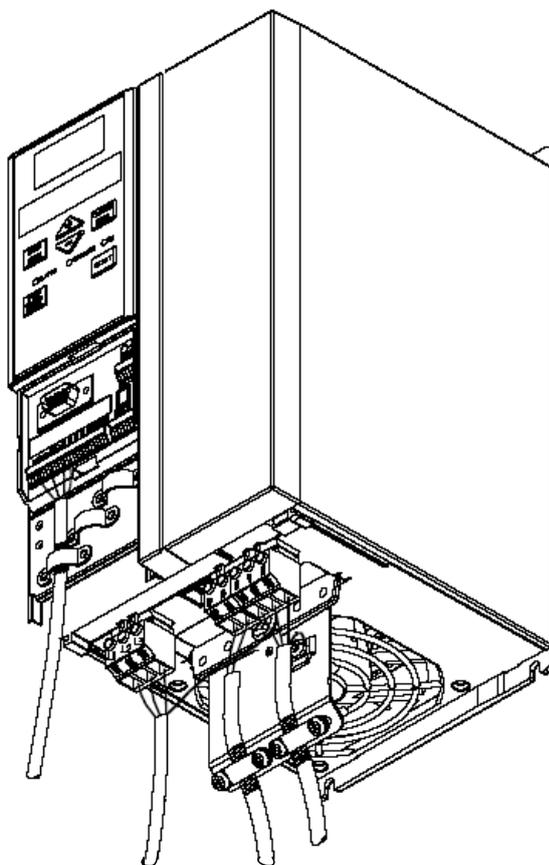


Рисунок 3.1 - Внешний вид преобразователей частоты серии VLT 2855

Серия VLT 2800 была разработана для применения с электрическими двигателями небольшой мощности. Модельный ряд представлен мощностями от 0,37 до 22Вт. Преобразователи этой серии имеют малые размеры и допускают монтаж «стенка к стенке». Внутренняя конструкция состоит из двух модулей: силовой части и платы управления.

Преобразователь частоты VLT 2800 PT4 B20 ST RO DB F10 имеет ряд преимуществ:

- Благодаря АМТ - автоматической адаптации к двигателю, которая измеряет параметры двигателя для оптимального управления, повышается КПД системы "преобразователь частоты-двигатель".
- Встроенный ПИД-регулятор осуществляет оптимальное управление процессом регулирования. Точный старт/стоп обеспечивает хорошую повторяемость и точность позиционирования.
- Серия VLT 2800 сконструирована для стабильной работы в промышленных условиях. RFI-фильтр подавляет высокочастотные помехи в питающей сети и позволяет нормально работать оборудованию, предъявляющему дополнительные требования к электромагнитной совместимости.
- Встроенный фильтр подавления гармоник позволяет укладываться в нормы стандарта IEC 61000-3-2.
- Все преобразователи частоты серии VLT 2800 легко использовать благодаря функции "Быстрое меню", которая включает в себя все необходимые параметры для запуска и нормальной работы. Привод также может управляться и программироваться с внешней панели управления, снабженной графическим дисплеем. Протоколы связи Profibus и DeviceNet позволяют полностью контролировать и управлять приводом с персонального компьютера или контроллера.

На рисунке 3.2 представлена схема подключения ПЧ.

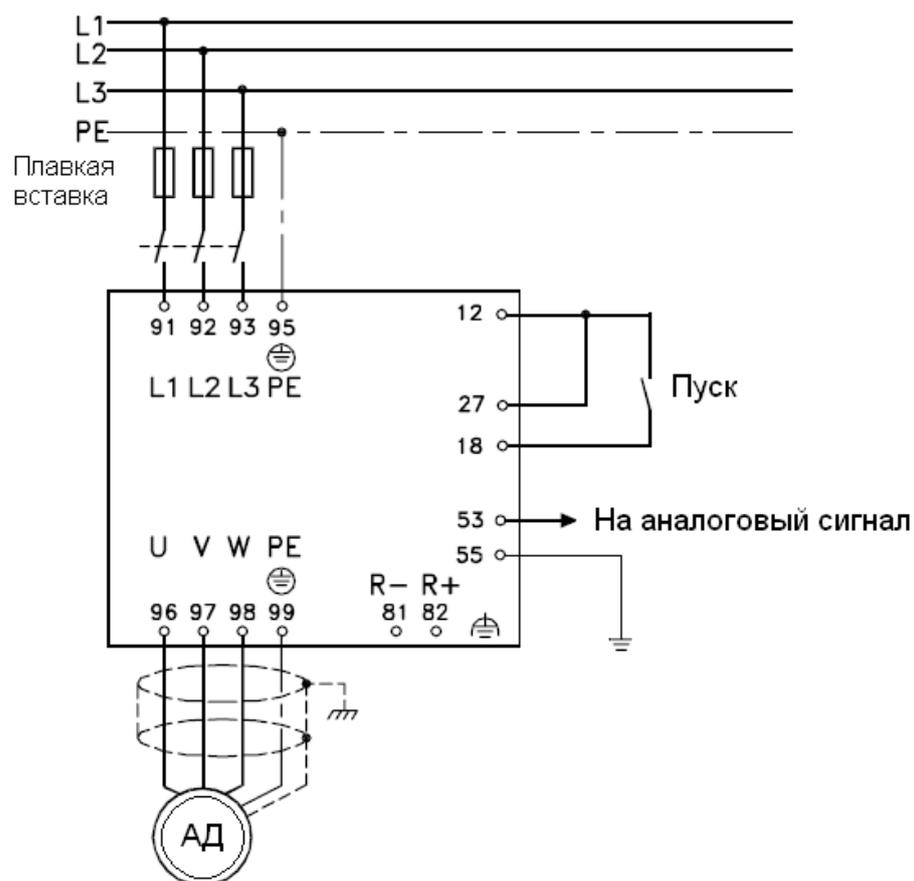


Рисунок 3.2 - Схема подключения ПЧ

Преобразователь частоты питается от трехфазной сети с линейным напряжением 380 В, фазы которой подключаются к клеммам L1, L2, L3, клемм PE заземляется. Сняв заднюю панель, замкнуть клеммы 12 и 27. Асинхронный двигатель подсоединяется к клеммам U, V, W, а клемма PE заземляется.

4 Расчет статических характеристик системы преобразователь – двигатель при частотном регулировании

Вольт-частотная характеристика преобразователя при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$, рассчитанная по выражению [10]

$$U_1(f_1) = U_{1\text{фн}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2, \quad (4.1)$$

приведена на рисунке 4.1 (характеристика 1).

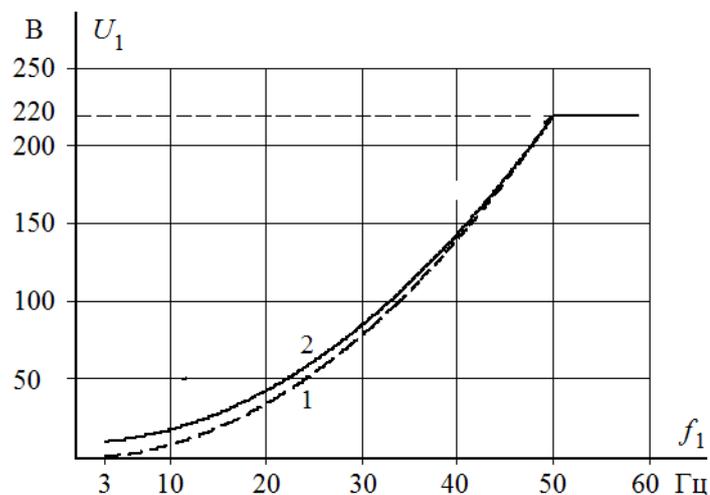


Рисунок 4.1 - Вольт-частотная характеристика преобразователя:

- 1 - при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ в соответствии с (4.1);
- 2 - при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ в соответствии с (4.3)

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

4.1 Механические характеристики системы преобразователь-

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

Механические характеристики $\omega(M)$ разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ для ряда выбранных значений выходной частоты инвертора: $f_{1н1}=50$ Гц; $f_{1н2}=30$ Гц; $f_{1н3}=15$ Гц; $f_{1н4}=5$ Гц рассчитываются с помощью программы *Mathcad* по выражениям:

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot U_1^2(f_1) \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \cdot s \cdot \left[\left(X_{кн} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}} \right)^2 \right]} \quad , (4.2)$$

$$= \frac{3 \cdot U_1^2(f_1) \cdot 0,11}{314,16 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot s \cdot \left[\left(1,1 \cdot \frac{f_1}{50} \right)^2 + \left(0,25 + \frac{0,11}{s} \right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 0,11}{s \cdot 16,5 \cdot \frac{f_1}{50}} \right)^2 \right]}$$

где

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

$$\omega(s, f_1) = 314,16 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot (1-s).$$

По результатам расчета на рисунке 4.2 построено семейство механических характеристик $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при изменении частоты.

Анализ приведенных на рисунке 4.2 механических характеристик электропривода и нагрузки показывает, что при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ не удастся обеспечить пуск электропривода при выборе начальной частоты инвертора $f_{и.мин} = 5 \text{ Гц}$, т.к. пусковой момент двигателя на этой частоте меньше, чем $\Delta M_{с.дв} = 1,79 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

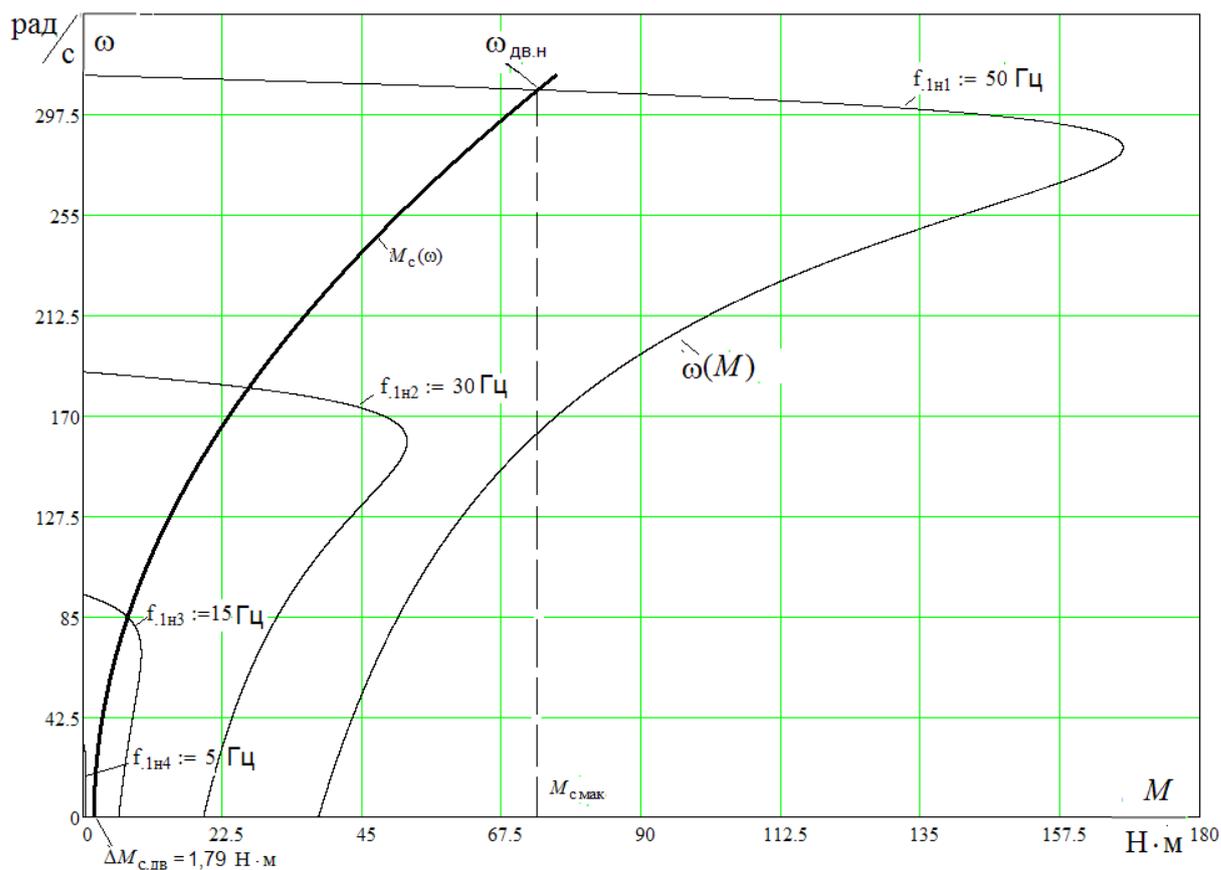


Рисунок 4.2- Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$:

$$\Delta M_{с.дв} = 1,79 \text{ Н} \cdot \text{м}; M_{смакс} = M_{дв.н} = 71,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

С целью обеспечения двукратного пускового момента на минимальной частоте инвертора $f_{и.мин} = 5 \text{ Гц}$ экспериментально выполнен подбор параметров начального участка вольт-частотной характеристики преобразователя.

Окончательно выбраны для начального участка характеристики следующие параметры (рисунок 4.1): $U_{1\text{мин}} = 7 \text{ В}$, $f_{\text{и.мин}} = 3 \text{ Гц}$.

В результате вольт-частотная характеристика представлена зависимостью

$$U_1(f_1) = U_{1\text{мин}} + (U_{1\text{фн}} - U_{1\text{мин}}) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2 = 7 + (220 - 7) \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2 \quad (4.3)$$

и приведена на рисунке 4.1 (характеристика 2).

Механические характеристики системы преобразователь – двигатель, рассчитанные по выражениям (4.2) с учетом выбранной настройки вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3) приведены на рисунке 4.3.

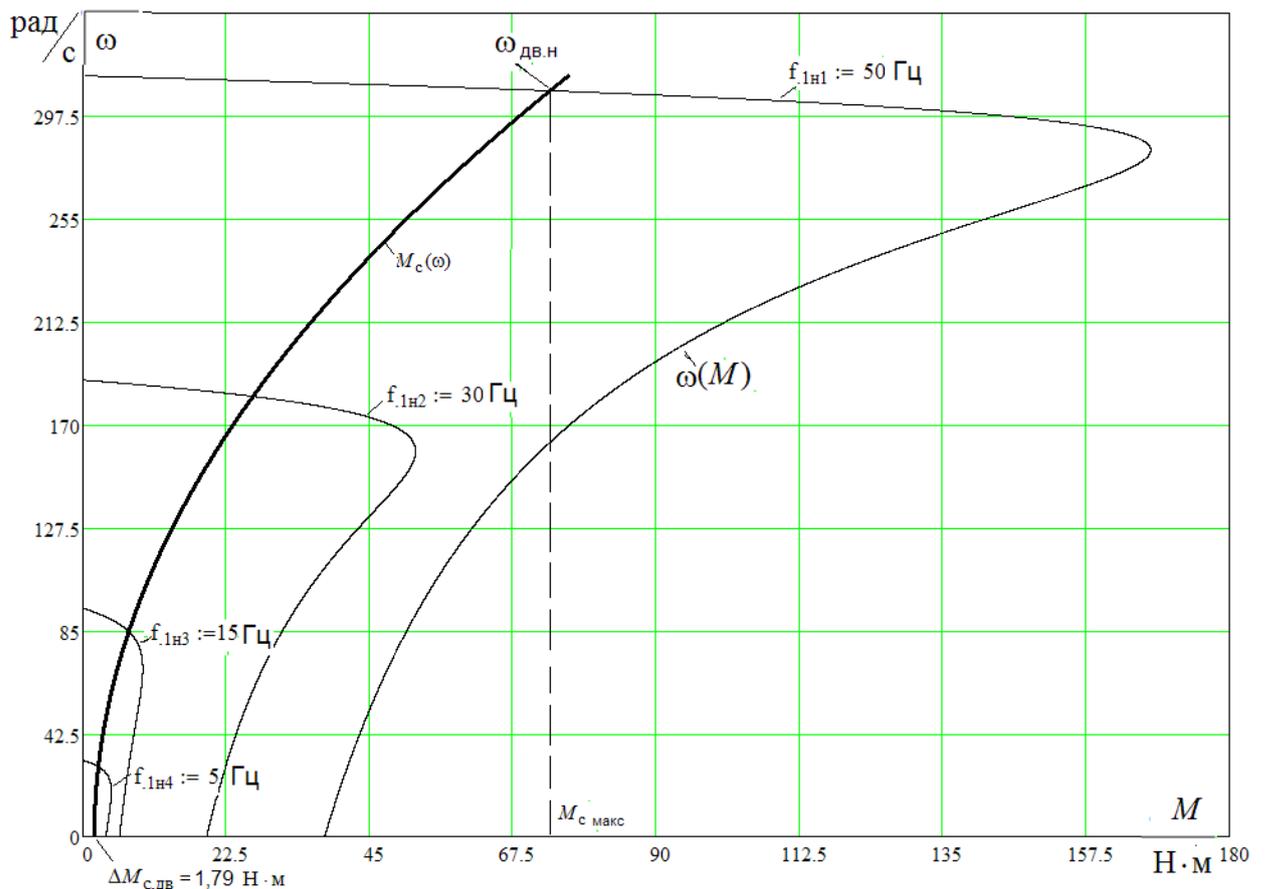


Рисунок 4.3- Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3)

Анализ приведенных на рисунке 4.2 и рисунке 4.3 характеристик электропривода и нагрузки показывает, что при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3) асинхронный двигатель обеспечивает пуск компрессора при начальной частоте инвертора $f_{1н4}=5$ Гц.

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

Электромеханические характеристики $\omega(I_1)$ разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель после настройки вольт-частотной характеристики преобразователя в соответствии с (4.3) рассчитываются для выбранных ранее значений частоты по выражениям:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2^2(s, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2(s, f_1) \cdot \sin \phi_2(s, f_1)}; \quad (4.4)$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_{1\mu})^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}}\right)^2}} = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{0,25^2 + (0,00147 + 16,5)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}}\right)^2}}; \quad (4.4)$$

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

$$= \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(0,25 + \frac{0,11}{s}\right)^2 + \left(1,1 \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{f}}}\right)^2 + \left(\frac{0,25 \cdot 0,11}{s \cdot 16,5 \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{f}}}}\right)^2}};$$

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

$$= \frac{1,1 \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{f}}}}{\sqrt{\left(0,25 + \frac{0,11}{s}\right)^2 + \left(1,1 \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{f}}}\right)^2}},$$

где

$$U_1(f_1) = U_{1\text{мин}} + (U_{1\text{фн}} - U_{1\text{мин}}) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}}\right)^2 = 7 + (220 - 7) \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2,$$

$$\omega(s, f_1) = 314,16 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot (1 - s).$$

По результатам расчета на рисунке 14 построено семейство электро-механических характеристик $I_1(\omega)$ системы преобразователь-двигатель для выбранных значений выходной частоты инвертора: $f_{1\text{н1}}=50$ Гц; $f_{1\text{н2}}=30$ Гц; $f_{1\text{н3}}=15$ Гц; $f_{1\text{н4}}=5$ Гц.

На рисунке 13 приведена характеристика полного момента нагрузки $M_c(\omega)$, а на рисунке 14 соответствующая ей зависимость статического тока нагрузки $I_{1\text{с}}(\omega)$, рассчитанная по выражениям (4.4) – (4.7) в интервале частот

$f_1 = f_{1н1} \div f_{1н4}$ для значений скольжения s , найденных путем совместного численного решения уравнений для механических характеристик двигателя и нагрузки.

Анализ приведенных на рисунке 4.3 и рисунке 4.4 характеристик электропривода и нагрузки показывает, что при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3) асинхронный привод обеспечивает пуск насоса с начальной частоты инвертора $f_{и.мин} = 5 \text{ Гц}$ и не менее чем двукратную максимальную перегрузку во всём диапазоне регулирования скорости.

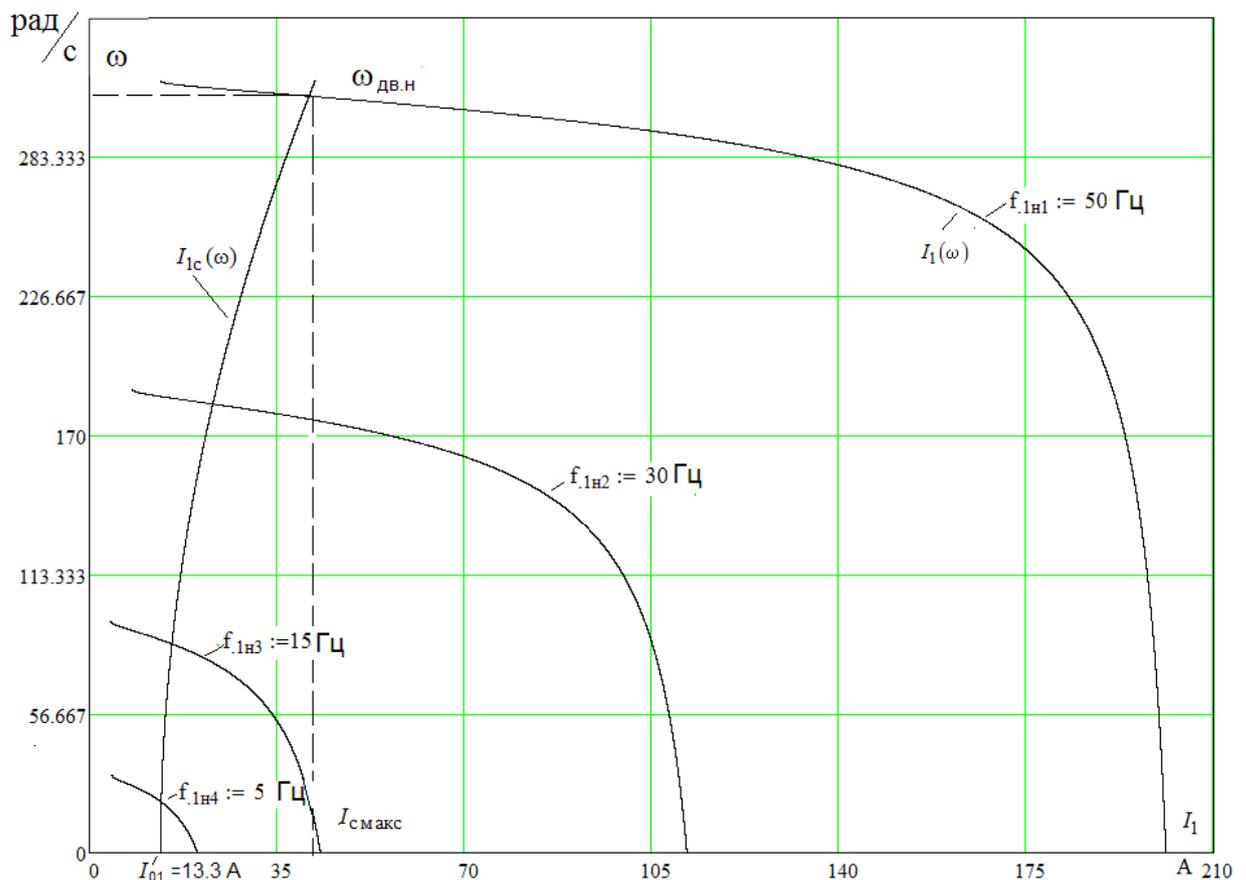


Рисунок 4.4 - Электромеханические характеристики электропривода $\omega(I_1)$ при скалярном управлении после настройки вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3)

5 Частотно-регулируемый асинхронный электропривод компрессора со скалярным управлением

5.1 Силовой канал электропривода

В силовой канал электропривода входят:

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

При решении задач анализа и синтеза регулируемых асинхронных электроприводов обычно применяются модели электродвигателя, составленные на базе обобщенной электрической машины и выполненные в неподвижной или вращающейся двухфазной системе координат. На рисунке 15 приведена структурная схема силового канала непрерывной линеаризованной системы преобразователь - асинхронный электродвигатель в неподвижной системе координат [10]. Входными координатами структурной схемы являются составляющие напряжения управления преобразователя $U_{yn,\alpha}$ и $U_{yn,\beta}$, а выходной величиной – угловая скорость двигателя ω . Структурная схема (рисунок 15) характеризуется следующими промежуточными координатами:

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

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

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

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

На основании данной системы уравнений была составлена структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат α, β и реактивной нагрузкой (приведена на рисунке 5.1). Входными величинами на структурной схеме рисунка 5.1 являются напряжения переменного тока – фазные напряжения статорных обмоток двухфазного АД:

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

Параметры звеньев структурной схемы двигателя.

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора

$$L_1 = L_{1\delta} + L_\mu = 0,00147 + 0,053 = 0,05447 \text{ Гн};$$

– ротора

$$L_2 = L_{2\delta} + L_\mu = 0,002 + 0,053 = 0,055 \text{ Гн}.$$

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_\mu^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,053^2}{0,05447 \cdot 0,055} = 0,0624.$$

Эквивалентное сопротивление

$$R_3 = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2} = 0,25 + 0,11 \cdot \frac{0,053^2}{0,055^2} = 0,352 \text{ Ом.}$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_3 = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_3} = \frac{0,0624 \cdot 0,05447}{0,352} = 0,00965 \text{ с;} \quad T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{0,055}{0,11} = 0,5 \text{ с.}$$

Момент инерции двигателя $J_{\text{дв}} = 0,062 \text{ кг м}^2$.

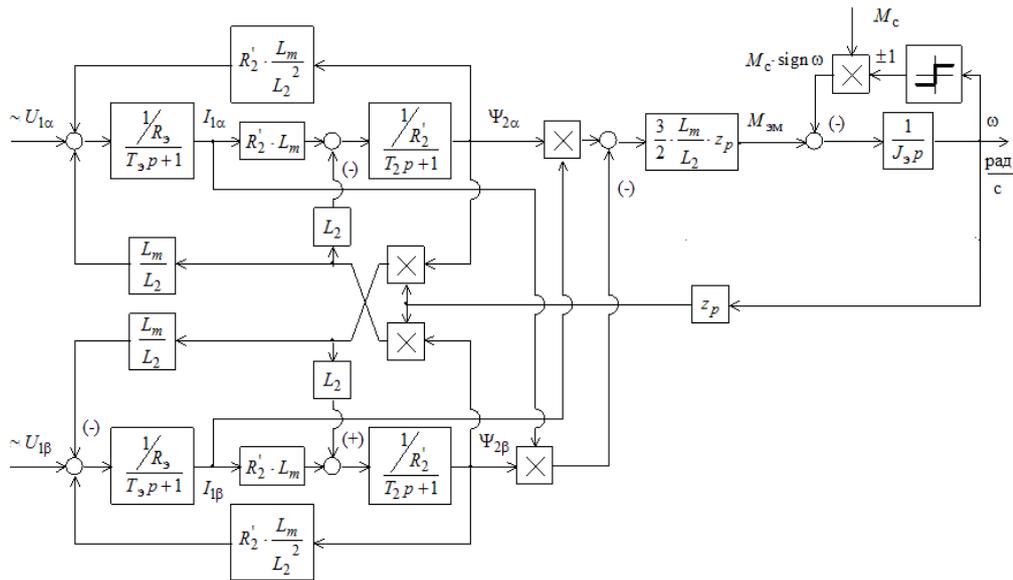


Рисунок 5.1 - Структурная схема силового канала системы ПЧ-АД в неподвижной двухфазной системе координат α, β

В пакете Simulink системы Matlab разработана имитационная модель силового канала системы преобразователь - асинхронный электродвигатель в неподвижной системе координат [10]. Имитационная модель прямого пуска АД на ее основе приведена на рисунке 5.2.

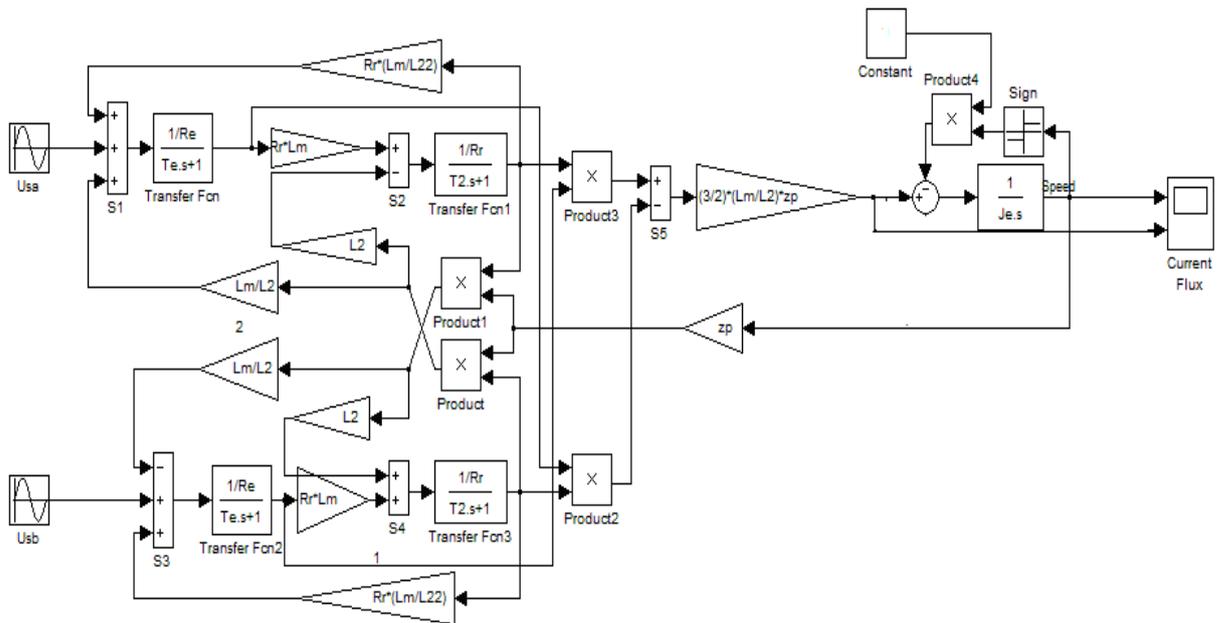


Рисунок 5.2 – Имитационная модель силового канала системы ПЧ-АД

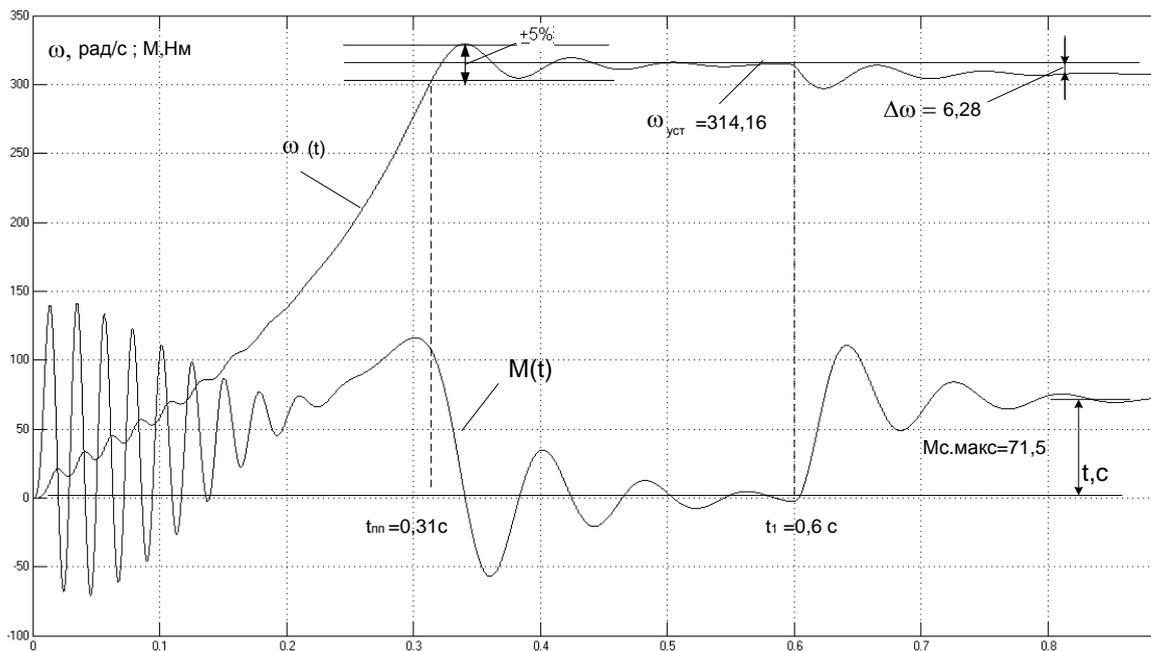


Рисунок 5.3 – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске и набросе нагрузки $M_{с.макс}=71,5$ Нм

Переходные процессы скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске и набросе нагрузки $M_{с.макс}=71,5$ Нм, полученные на этой модели приведены на рисунке 17. Как видно из рисунка прямой пуск сопровождается большими колебаниями электромагнитного момента АД, что приводит к колебаниям скорости.

Как видно из графика, при набросе нагрузки, равной номинальному моменту двигателя, частота вращения вала двигателя уменьшается с синхронной $\omega_0 = 314,16$ рад/с до $\omega_{дв.н} = 307,88$ рад/с, величина скольжения

$$s = \frac{\omega_0 - \omega_{дв.н}}{\omega_0} = \frac{314,16 - 307,88}{314,16} \cdot 100 = 2\%$$

соответствует номинальному значению (таблица 2.1).

5.2 Функциональная схема системы скалярного частотного управления

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

Функциональная схема такого частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением, выполненная по разомкнутой структуре, приведена на рисунке 5.4. АД выполнен в виде двухфазной модели в неподвижной системе координат α, β [9]. На функциональной схеме символом * обозначены сигналы задания и управления и приняты следующие обозначения:

ω - фактическое значение угловой скорости вращения двигателя;

ЗИС - задатчик интенсивности скорости с линейной характеристикой;

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

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

ФФН – формирователь фазных напряжений двухфазного двигателя.

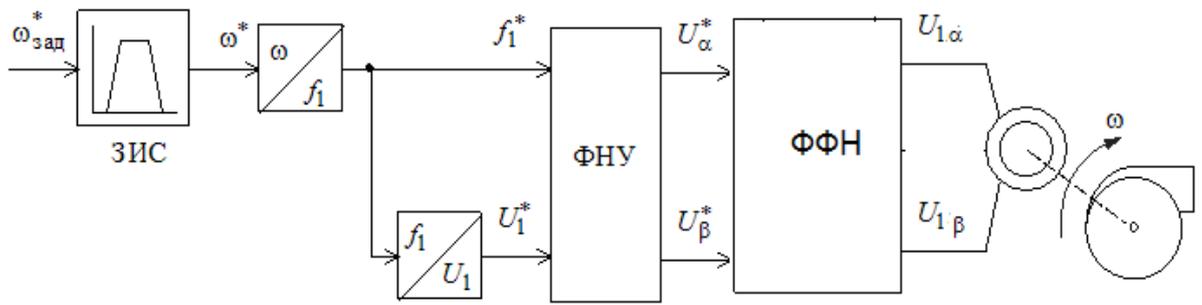


Рисунок 5.4 - Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

В разомкнутой системе электропривода со скалярным управлением при уменьшении частоты максимальный момент двигателя уменьшается. Основная причина этого – возрастания влияния активного сопротивления обмотки статора при снижении частоты питающего напряжения. При законе регулирования $U_1 / f_1^2 = \text{const}$, как было показано выше, с целью обеспечения пускового момента на малых скоростях в преобразователе должна быть предусмотрена функция корректировки (повышение начального значения напряжения) вольт-частотной характеристики в области малых частот выходного напряжения инвертора. Либо, как показано в [9], можно применить так называемую IR - компенсацию (повышение фазного напряжения инвертора на величину падения напряжения на обмотке статора $I_1 \cdot R_1$) в области малых частот.

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

В соответствии с функциональной схемой, представленной на рисунке 5.4, из библиотеки имитационных моделей систем ПЧ-АД, предложенных [10] в среде *Simulink* системы *MatLab* выбираем модель, показанную на рисунке 5.5. Имитационные модели входящих в нее блоков представлены на рисунках 5.6 -5.11.

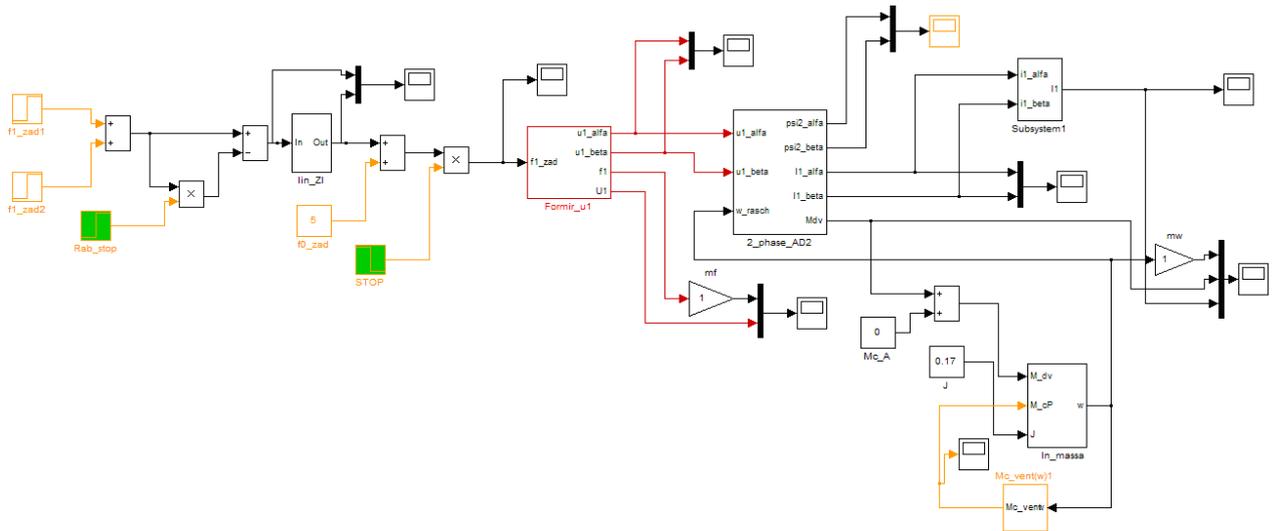


Рисунок 5.5 - Имитационная модель разомкнутой системы ПЧ-АД со скалярным управлением

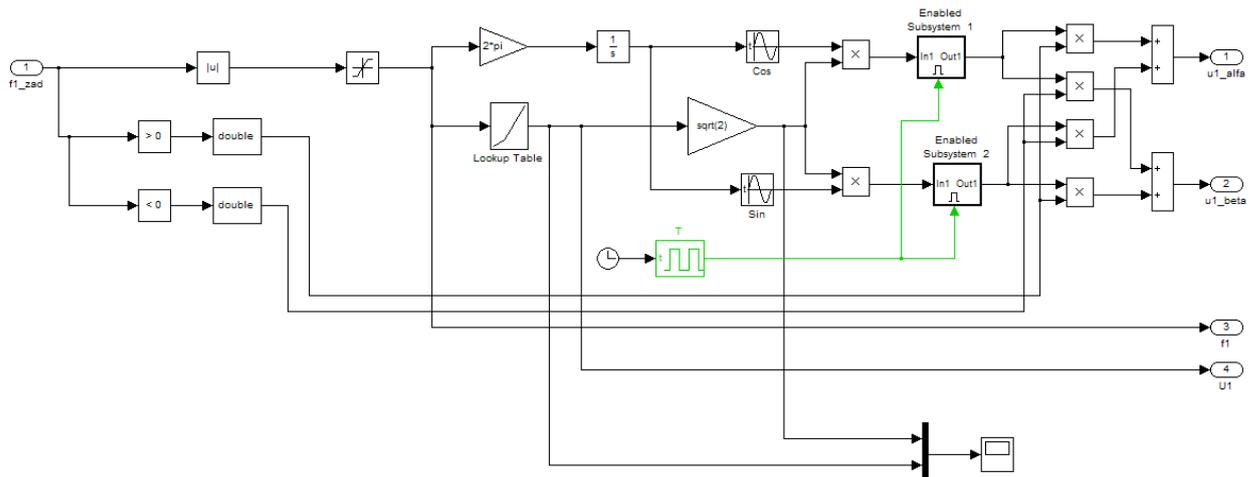


Рисунок 5.6 - Имитационная модель формирователя фазных напряжений статорных обмоток двухфазного двигателя в неподвижной системе координат α, β

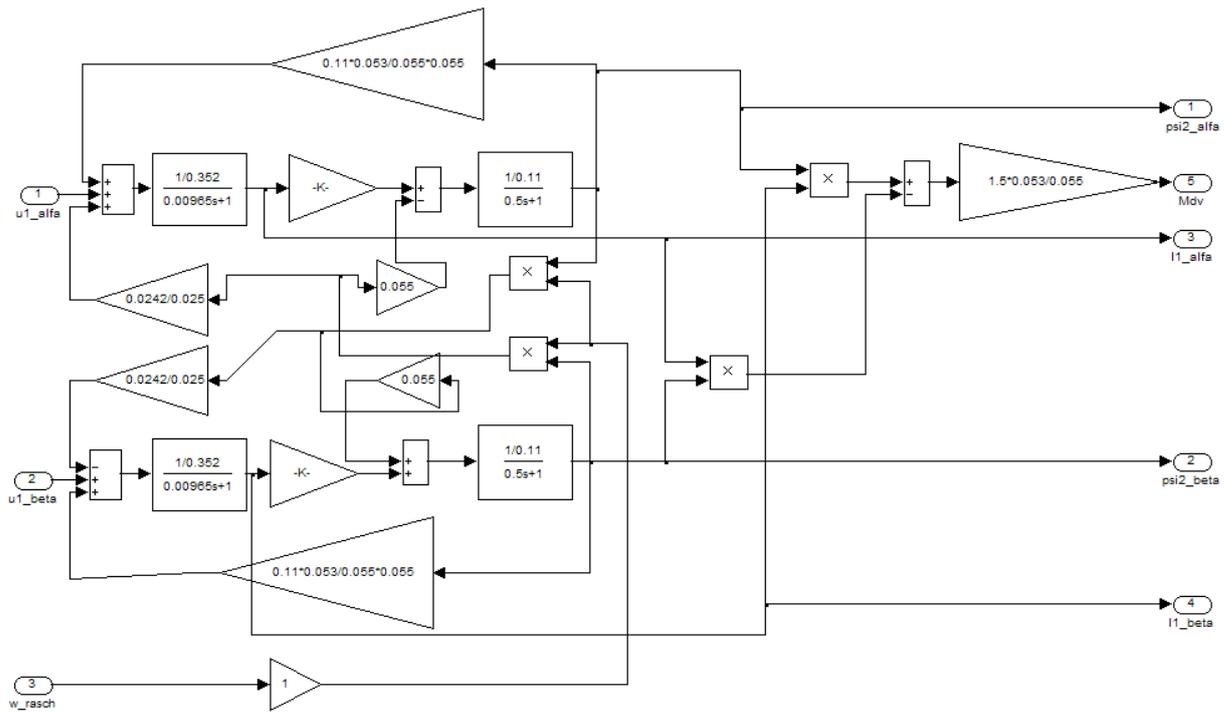


Рисунок 5.7 - Имитационная модель АД в неподвижной системе координат α, β

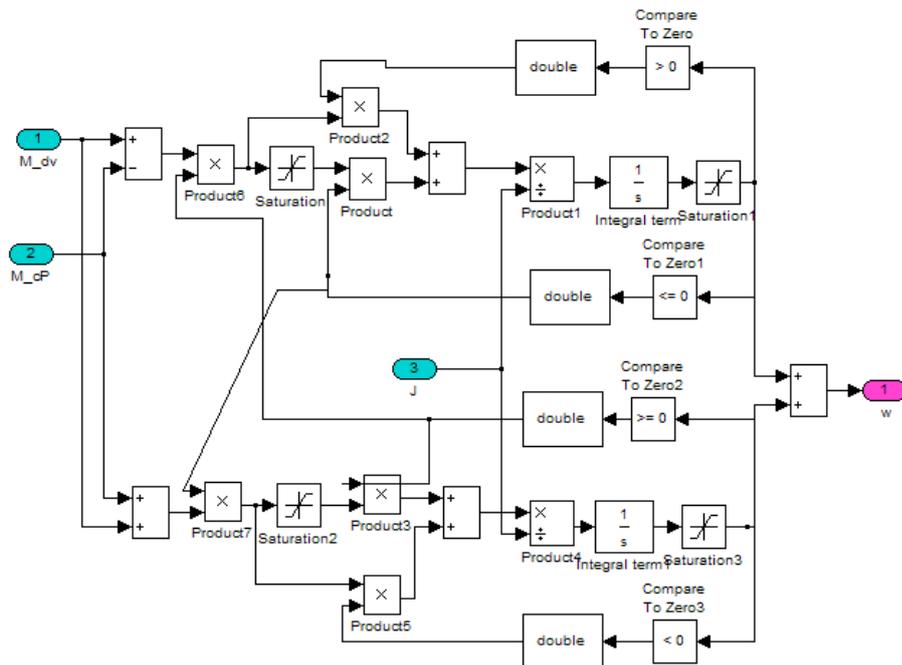


Рисунок 5.8 – Имитационная модель одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера

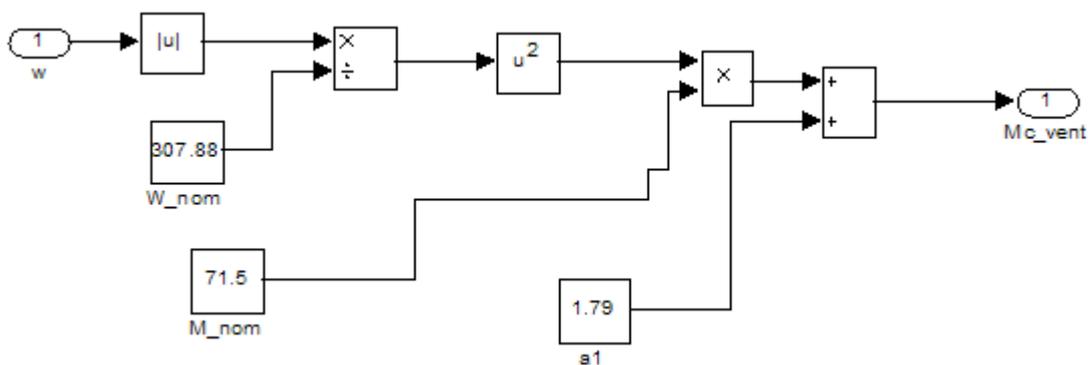


Рисунок 5.9 – Имитационная модель насосной нагрузки

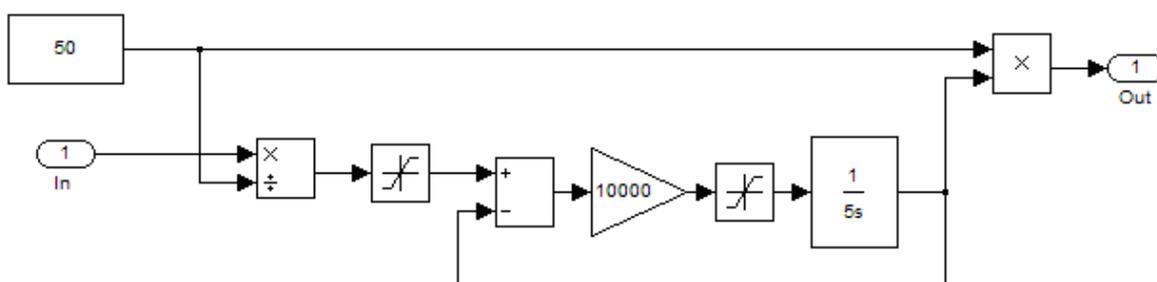


Рисунок 5.10 – Имитационная модель датчика интенсивности с линейной выходной характеристикой

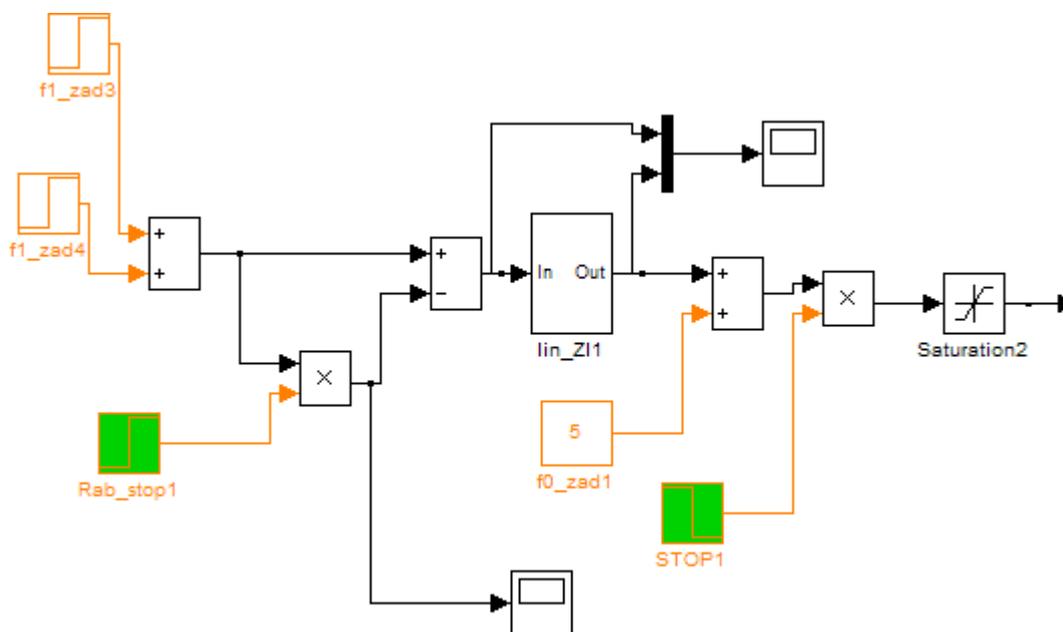


Рисунок 5.11 – Имитационная модель датчика интенсивности с линейной выходной характеристикой

На рисунке 5.11 представлена математически рассчитанная и аппроксимированная ломаными линиями кривая зависимости $f = U_1 / f_1^2$.

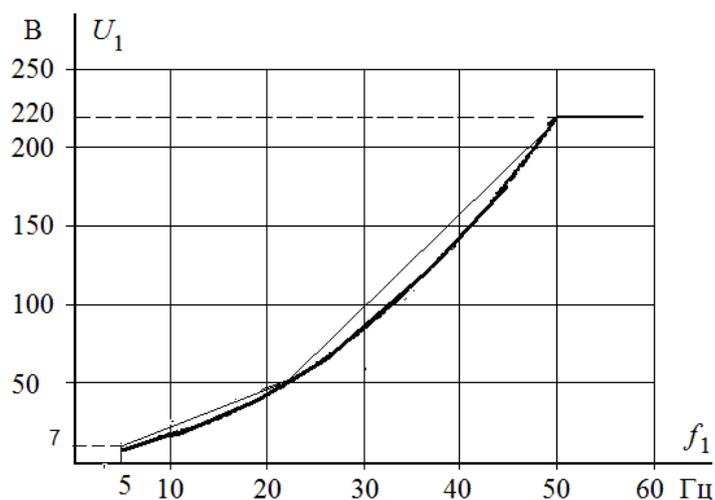


Рисунок 5.11 - Кривая зависимости $U_1(f_1)$

Кривая зависимости $U_1(f_1)$ аппроксимированная отрезками прямых представлена в таб.5.1, и набрана в нелинейном блоке *Lookup Table* в имитационной модели формирователя фазных напряжений.

Таблица 5.1- Параметры вольт-частотной характеристики преобразователя

f_1 , Гц	5	22	50
U_1 , В	7	50	220

Имитацию квантования по времени фазных напряжений на выходе автономного инвертора напряжения преобразователя частоты (рис. 5.6), происходящее в процессе его широтно-импульсной модуляции (ШИМ) производится с помощью стандартных блоков библиотеки *Simulink : Pulse Generator* и *Enabled Subsystem* [9].

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

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

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

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

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

- пуск электропривода на минимальную рабочую скорость;
- пуск электропривода с минимальной рабочей скорости на максимальную;
- торможение электропривода с максимальной скорости до минимальной;
- останов электропривода.

К электроприводу компрессора не предъявляется высоких требований к динамическим показателям. Поэтому при выборе параметров настройки датчика интенсивности скорости, прежде всего следует исходить из условия обеспечения плавного пуска электропривода. В ходе имитационных экспериментов при моделировании установлено, что для обеспечения плавного пуска вентилятора достаточно принять постоянную времени датчика $T_{зи} = 5 \text{ с}$.

В качестве примера рассмотрена обработка электроприводом компрессора следующего цикла:

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

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

III – движение на максимальной рабочей скорости;

IV - переход на минимальную частоту ($f_{и.мин} = 5$ Гц);

V - движение на минимальной рабочей скорости;

VI - – останов электропривода $f_{и.зад} = 0$ Гц.

На рис. 5.12 приведены временные характеристики обработки электроприводом компрессора с законом регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и настройкой вольт-частотной характеристики в соответствии с (таб.5.1) принятого цикла работы.

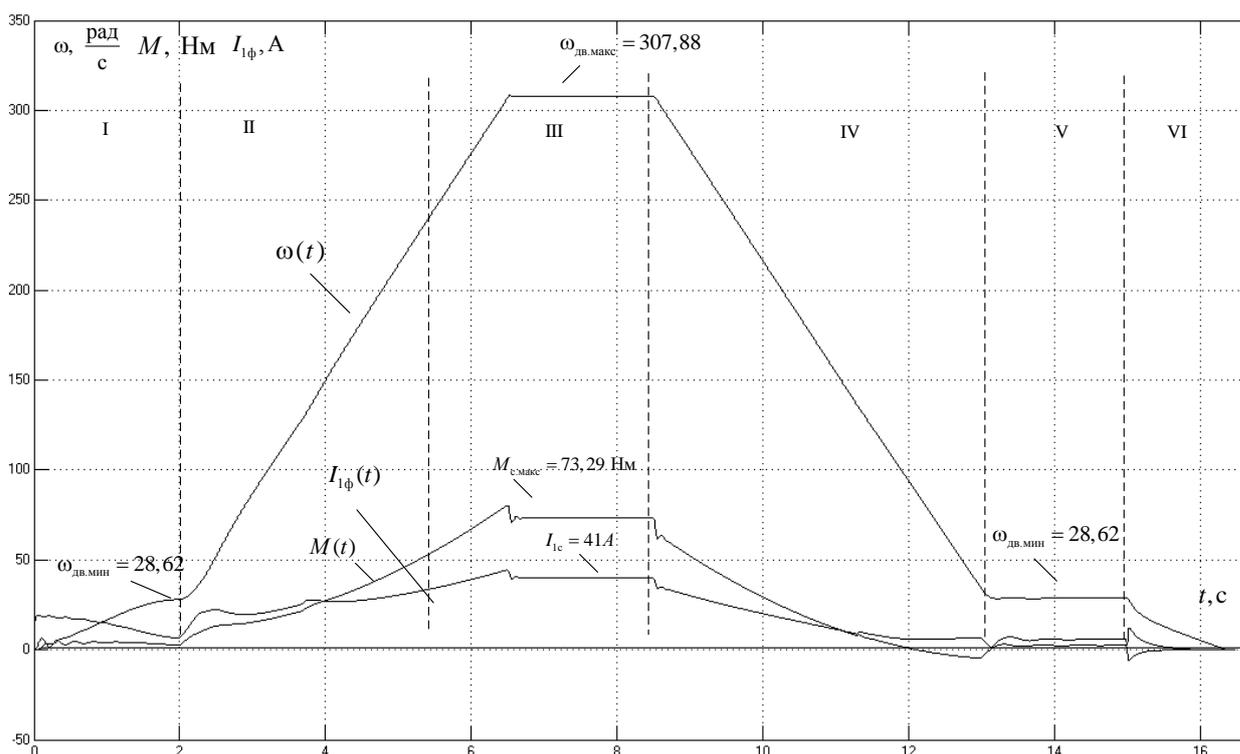


Рисунок 5.12 – Результаты имитационных исследований обработки электроприводом компрессора заданного цикла при настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (таб.5.1): графики переходных процессов – скорости $\omega(t)$, момента $M(t)$, фазного тока двигателя $I_{1\phi}(t)$

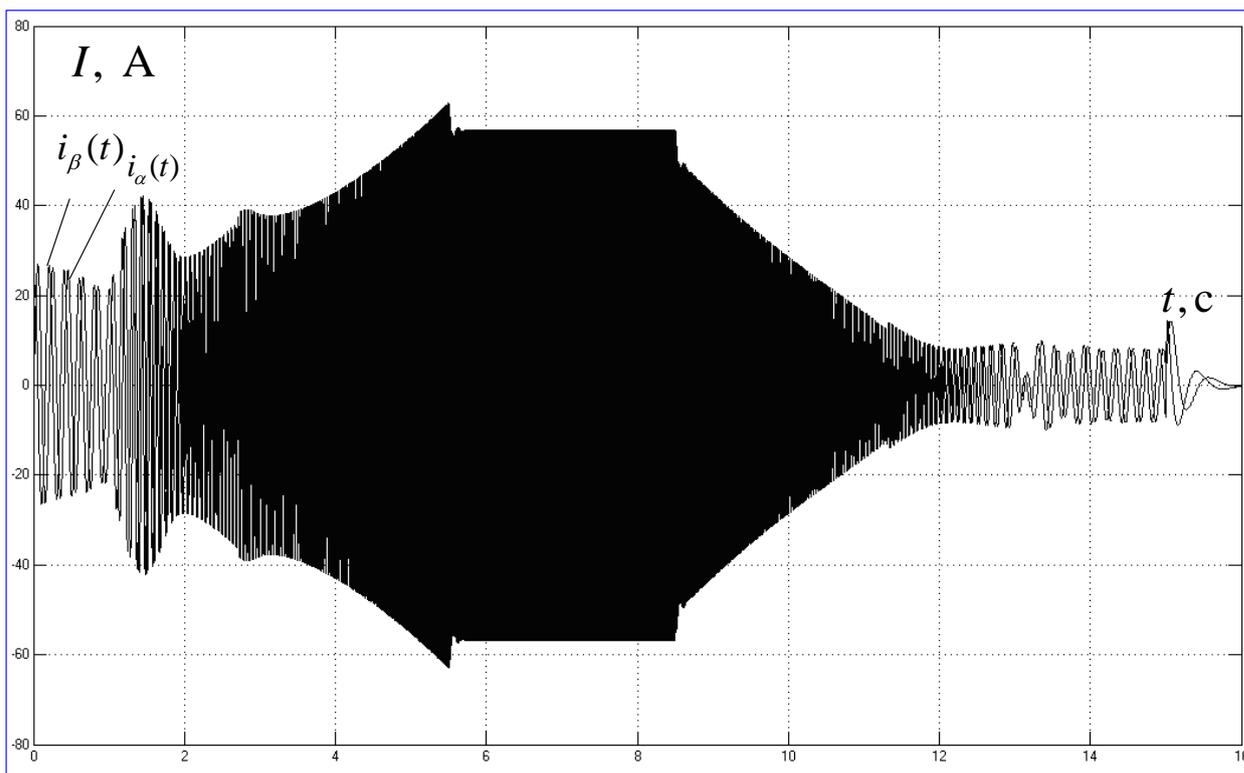


Рисунок 5.13 – Результаты имитационных исследований обработки электроприводом компрессора заданного цикла при настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (таб.5.1): графики переходных процессов – фазных токов двигателя $i_{\alpha}(t)$ и $i_{\beta}(t)$

Выводы. Полученные результаты имитационных исследований доказывают, что частотно-регулируемый асинхронный электропривод компрессора под «вентиляторной» нагрузкой при скалярном управлении с законом управления $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и корректировкой вольт-частотной характеристики в соответствии с таб.5.1 обеспечивает пуск электропривода с начальной частоты $f_{\text{и. мин}} = 5$ Гц и требуемый диапазон регулирования скорости вентилятора. Переходные процессы в электроприводе протекают плавно с ограничением динамического момента, токов двигателя и преобразователя. Время пуска и электрического торможения электропривода определяется и может быть изменено путём выбора значения постоянной времени задатчика интенсивности скорости.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В предыдущих разделах выпускной квалификационной работы разработан электропривод азотной компрессорной установки

В данном разделе проекта рассматривается организация выполнения научно – технического проекта, а также комплекс работ, которые необходимо провести, чтобы ввести в эксплуатацию электропривод азотной компрессорной установки и стоимостная оценка этих работ.

По характеру технологического процесса и условий эксплуатации к работе ЭП сформулированы следующие требования:

- обеспечение безопасного технологического режима агрегатов;
- минимальное время протекания переходных процессов;
- надежная защита и сигнализация;
- улучшение условий труда оператора;
- снижение расходов на электроэнергию;
- уменьшение вредных выбросов в атмосферу

К экономическим показателям электропривода относятся:

- стоимость оборудования;
- заработная плата обслуживающего персонала;
- стоимость годовой экономии электроэнергии.

Технико-экономические показатели, надежность работы ЭП во многом зависят от автоматизации технологического процесса, а также от качества проведения пуско-наладочных работ (ПНР).

6.1 Структура проведения работ по модернизации

Целью проведения работ по модернизации является разработка и исследование электропривода азотной компрессорной установки

Весь комплекс работ разобьем на 3 этапа.

Полный комплекс работ по модернизации и последовательность их выполнения исполнителями с учетом нормативов сведем в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 - Комплекс работ по модернизации электропривода азотной компрессорной установки

Наименование работ	Исполнители	Дни
1 Подготовительные работы		
1.1 Получение задания и ознакомление	Научный руководитель, Проектировщик	1
1.2 Подбор и изучение литературы	Проектировщик	14
1.3 Выбор методики испытания	Научный руководитель, Проектировщик	7
2. Экспериментальные работы		
2.1 Создание и отладка имитационной модели	Научный руководитель, Проектировщик	40
3 Заключительные работы		
3.1 Обоснование результатов	Бакалавр-проектировщик	5
3.2 Обработка результатов	Проектировщик	14
3.3 Оформление проекта	Бакалавр-проектировщик	21
3.4 Оформление графической части	Бакалавр-проектировщик	7
3.5 Обсуждение с заказчиком	Проектировщик	7
3.6 Сдача проекта	Научный руководитель, Проектировщик	1
Итого		117

График выполнения работ по модернизации согласно таблице 6.1 представлен на рисунке 6.1.

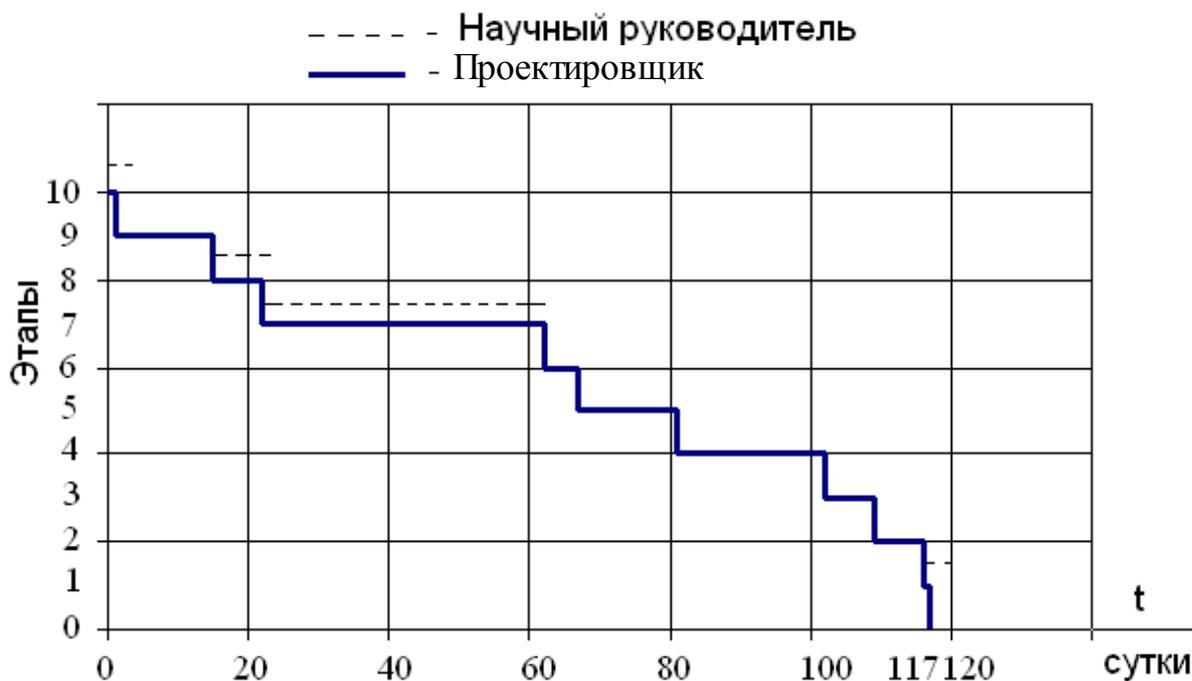


Рисунок 6.1 - Этапы работ по модернизации электропривода азотной компрессорной установки.

Таким образом, работы по модернизации проводятся в течение

$$Q = N_m / N_{p.d} = 117 / 26 = 4,5 \text{ месяцев,}$$

где $Q = 4,5$ – количество месяцев, в течение которых проводится модернизация; $N_m = 117$ – количество дней, в течение которых проводится модернизация; $N_{p.d} = 26$ – количество рабочих дней в месяце.

6.2 Планирование и организация пуско-наладочных работ.

В связи с быстрым развитием техники, ПНР проводятся на всех, без исключения, предприятиях, где осуществляется реконструкция и модернизация действующего электрооборудования. Стоимость электрооборудования и его монтаж составляет большой удельный вес в общей стоимости развития завода.

Организация и планировка ПНР производится для конкретных производств параллельно с расчетами по организации и планированию строительства, либо модернизации производства, в соответствии с нормативными актами. Финансирование ПНР осуществляется из ремонтного фонда предприятия, либо цеха (в зависимости от масштабов и стоимости).

6.3 Планирование проведения пуско-наладочных работ

ПНР являются важным звеном подготовки оборудования к эксплуатации. Состав ПНР определен, исходя из сложности оборудования электропривода и механизма работы.

Состав электропривода:

- Компрессор Atlas Copco GA22-13FF;
- преобразователь частоты VLT 2800 PT4 B20 ST RO DB F10 фирмы Danfoss;
- Газоразделительный блок (мембранного типа серии ProNitron);
- преобразователь интерфейса RS-485;
- измерительный преобразователь давления;
- автоматические выключатели типа A3110;
- плавкие предохранители ПР-2-60;
- монтажные и соединительные провода.

Целью проведения ПНР является доведение электрооборудования азотной компрессорной установки до соответствия требованиям, предъявляемым нормативными документами и технологическим процессом.

Весь комплекс работ разобьем на 5 этапов, а осуществит его бригада из 3-х человек в следующем составе: электрик участка, слесарь КИП и А 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда.

Полный комплекс ПНР и последовательность их выполнения исполнителями сведем в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 - Комплекс пуско-наладочных работ

Наименование работ	Исполнители	Часы
1. Подготовительный этап		
- ознакомление с проектом, выявление неточностей;	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	6
- составление графика проведения ПНР	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	2
- подготовка аппаратуры и инструмента;	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	2
- внешний осмотр оборудования и проверка его готовности	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	1
- определение соответствия техническим характеристикам установленного оборудования	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	2
- составление рабочей программы наладки и испытаний с учетом особенностей объекта	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	2
<i>ИТОГО 1-й этап</i>		15
2. Проверочные и монтажные работы		
- проверка объема электромонтажных работ и их соответствия рабочим чертежам проекта	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	4
- проведение электромонтажных работ	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	14
- проверка установленной аппаратуры, градуировка и снятие в случае необходимости характеристик	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	4
- проверка правильности выполнения схем автоматики	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	4
<i>ИТОГО 2-й этап</i>		26

Таблица 6.2 - Комплекс пуско-наладочных работ (продолжение)

3. Наладочные работы		
- наладка и настройка ПЧ	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	6
- проверка работы и функционирования блоков защиты и сигнализации	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	3
- проверка датчика давления	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	1
- проверка диапазона изменения напряжения преобразователя	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	1
- настройка задатчика интенсивности	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	2
- итоговая проверка работы защиты и блокировок	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	2
- настройка и снятие необходимых характеристик элементов САУ	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	8
- испытание оборудования вхолостую и под нагрузкой	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	2
<i>ИТОГО 3-й этап</i>		25
4. Комплексное опробование		
- обеспечение взаимосвязей устройств в составе электроустановки	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	2
- проверка режимов работы электроприбора при работе с пульта управления	Электрик участка, слесарь КИПиА 6-го разряда, электромонтер 5-го разряда	2
<i>ИТОГО 4-й этап</i>		4
5. Оформление документации		
- составление протокола наладки	Электрик участка	4
- внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта и изменений	Электрик участка	4
<i>ИТОГО 5-й этап</i>		8
ИТОГО весь комплекс работ		78

График выполнения пуско-наладочных работ согласно таблице 6.2 представлен на рисунке 6.2.

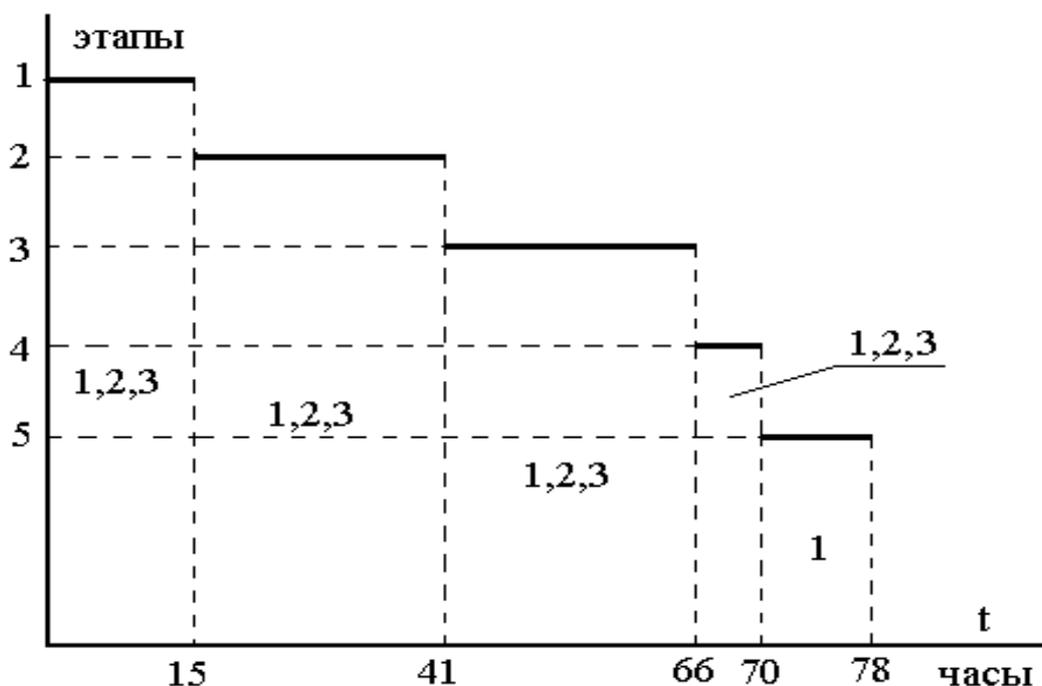


Рисунок 6.2 - Этапы пуско-наладочных работ:

1-электрик участка, 2-слесарь КИП и А 6-го разряда,
3- электромонтер 5-го разряда

Весь комплекс ПНР проводится бригадой за 10 рабочих дней. Все работы ведутся в строгом соответствии с нормами их проведения.

6.4 Планирование стоимости пуско-наладочных работ

Определение стоимости пуско-наладочных работ проводилось по методике, принятой с учетом цен по прайс-листам официальных сайтов заводоизготовителей.

Стоимость пуско-наладочных работ включает:

- материалы;
- заработная плата, основная и дополнительная;
- отчисления во внебюджетные страховые фонды ЕСН;
- накладные расходы.

В таблице 6.3 представлена основная заработная плата бригады на пуско-наладочные работы.

Таблица 6.3 - Заработная плата бригады на пуско-наладочные работы

Квалификация рабочего	Тарифная ставка (Тс) руб./час	Премия (Пр.) 1,86	Районный коэффициент Кр=1,3	Всего, руб./час	Всего часов	Всего начислено, тыс.руб.
Электрик участка	300	258,00	176,40	725,40	78	56581
Слесарь КИП и А 6 – го разряда	220	189,20	122,76	532	70	37237
Электромонтер 5 – го разряда	180	154,80	100,44	435,24	70	30467
ИТОГО						124285

Основная заработная плата наладчиков, с учетом районного коэффициента $K_p = 1,3$ и премии $Pr = 1,86$

$ЗП_{осн} = Tc \cdot Pr \cdot K_p \cdot T = 300 \cdot 1,86 \cdot 1,3 \cdot 78 = 56581$ руб, - основная зарплата электрика участка,

где T- время пуско-наладочных работ.

$ЗП_{осн}^* = 124285$ руб. – итоговая заработная плата всех наладчиков.

Дополнительная заработная плата наладчиков составляет 10 % от итоговой основной

$ЗП_{дон} = 0,10 \cdot ЗП_{осн}^* = 0,1 \cdot 124285 = 12429$ руб.

Отчисления на социальные нужды в РФ составляют 30,2 % от основной и дополнительной заработной платы

$$C_{сн} = 0,302 \cdot (ЗП_{осн}^* + ЗП_{доп}) = 0,302 \cdot (124285 + 12429) = 41287,63 \text{ руб.}$$

Накладные расходы при производстве пуско-наладочных работ составляют 40 % от основной заработной платы основных рабочих:

$$Нр = 0,4 \cdot ЗП_{осн}^* = 0,4 \cdot 124285 = 49714 \text{ руб.}$$

Расчёт стоимости ПНР сведём в таблицу 6.4.

Таблица 6.4 - Смета затрат ПНР

Наименование статьи расходов	№	Сумма, руб.	Уд. вес, %
Основная заработная плата	1	124285	56,0
Дополнительная заработная плата	2	12429	5,5
Отчисления в социальные фонды	3	41287,63	16,1
Накладные расходы	4	49714	22,4
Стоимость ПНР		227715,63	100,0

Таблица 6.5 - Стоимость основного оборудования

Наименование	Количество	Цена за ед., руб	Стоимость, руб
Преобразователь частоты VLT 2800 PT4 B20 ST RO DB F10 фирмы Danfoss;	1 шт.	70000	70000
Газоразделительный блок (мембранного типа серии ProNitron)	1 шт.	25000	25000
Преобразователь интерфейса RS-485	1 шт.	2000	2000
Измерительный преобразователь давления	1 шт.	7000	7000
Автоматический выключатель типа А3110	1 шт.	800	800
Плавкие предохранители ПР-2-60	3 шт.	200	600
Прочие расходы			5000
ИТОГО:			110400

Итого полная стоимость расходов на ПНР включая стоимость на оборудование составляет $110400 + 227715,63 = 338115,63$

Все работы производятся в соответствии с нормами их проведения.

В этом разделе была составлена смета затрат на проведение ПНР электропривода азотной компрессорной установки, построен график проведения работ бригадой.

Успешная работа бригады наладчиков зависит от правильного планирования ПНР и надлежащего материально-технического снабжения, то есть своевременной поставки материалов, инструментов и других принадлежностей.

В то же время немаловажную роль играет квалификация наладчиков и их материальная заинтересованность.

6.5 Расчёт экономии затрат на электроэнергию

На рисунке 6.3 представлен график потребления мощности асинхронным двигателем при скалярном частотном управлении.

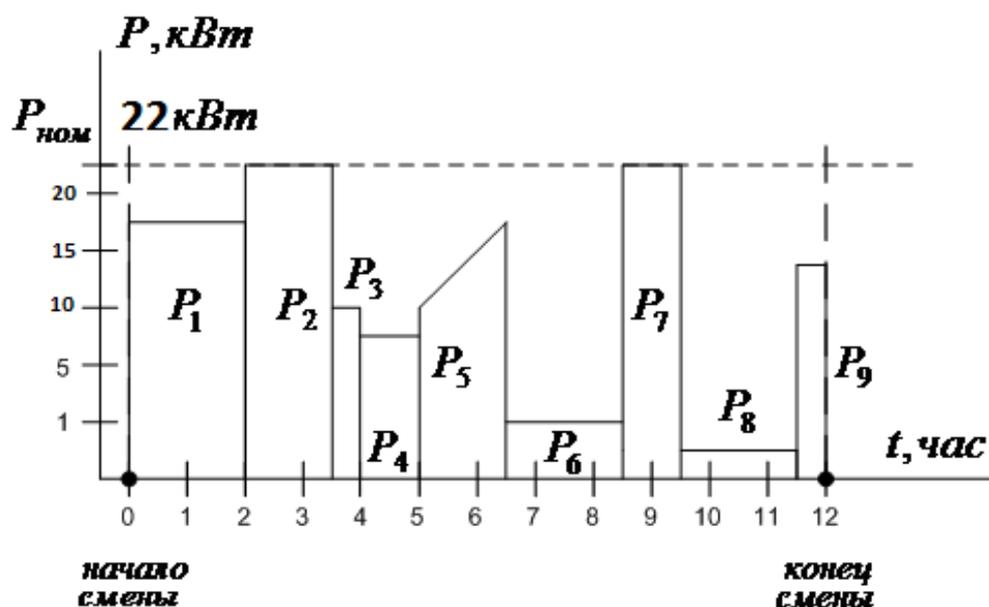


Рисунок 6.3– График потребления мощности асинхронным двигателем серии АИР180S2 УЗ при частотном управлении

Для расчета потребляемой энергии АД при частотном управлении воспользуемся графиком рисунка 4. Энергию посчитаем как площади фигур

$$\begin{aligned}
 W_{\text{потр}} &= P_1 \cdot t_1 + P_2 \cdot t_2 + P_3 \cdot t_3 + P_4 \cdot t_4 + P_5 \cdot t_5 + P_6 \cdot t_6 + P_7 \cdot t_7 + P_8 \cdot t_8 + P_9 \cdot t_9 = \\
 &= 16 \cdot 2 + 22 \cdot 1.5 + 10 \cdot 0.5 + 6 \cdot 1 + 10 \cdot 1.5 + \frac{1}{2} \cdot 1.5 + 1 \cdot 2 + 22 \cdot 1 + 0.5 \cdot 2 + \\
 &+ 14,6 \cdot 0.5 = 124,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.
 \end{aligned}$$

За смену АД потребляет 124,5 кВт·ч энергии. До модернизации АД вращался с постоянной номинальной скоростью. Для приблизительного расчета можно принять, что двигатель потреблял примерно одну мощность и энергию за смену:

$$W = P_{\text{ном}} \cdot t_{\text{смены}} = 22 \cdot 12 = 264 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Можно сказать что двигатель серии АИР180S2 У3 при частотном управлении потребляет примерно одну и ту же энергию что и оригинальный двигатель импортного производства.

Средние потери ПЧ при скалярном частотном управлении:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ном}} \cdot 0,5 = 0,275 \cdot 0,5 = 0,1375 \text{ кВт}.$$

При этом энергия потерь за смену: $W_{\text{ПЧ}} = 0,1375 \cdot 12 = 1,65 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$

6.6 Экономия электроэнергии составит

$$\Delta W = W - W_{\text{ном}} - W_{\text{ПЧ}} = 264 - 12,5 - 1,65 = 249,85 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Таким образом, при использовании рассчитанного частотно регулируемого электропривода и электродвигателя получим экономию энергии 249,85 кВт·ч за смену, что за год составит

$$\alpha = \Delta W \cdot N \cdot C = 249,85 \cdot 12 \cdot 21 = 62360,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год},$$

где - $\Delta W = 249,85 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ – экономия энергии за смену; N – количество месяцев в году; C – количество смен; α - мощность электроэнергии за год;

стоимость 1кВт·ч электроэнергии равна $C_{\text{час}} = 3,5 \text{ руб.}$

$$C_{\text{год}} = \alpha \cdot C_{\text{час}} = 62360,4 \cdot 3,5 = 218261,4 \text{ тыс. руб.}$$

Получаем, что за год затраты на электроэнергию уменьшатся на 218,2614 тыс. руб.

Вывод: при реализации данной выпускной квалификационной работы затраты на оборудование составят 110400 рублей, ещё 227715,63 рублей потребуется на проведение пуско-наладочных работ.

Таким образом, потратив 338115,63 рублей, предприятие получает следующие преимущества:

1. Ежегодная экономия затрат на электроэнергию после модернизации составит 121275 рублей.
2. Уменьшаются вредные выбросы в атмосферу;
3. Улучшаются условия труда оператора;

7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

7.1 Введение

Азотная компрессорная станция предназначена для получения азота.

Азот не имеет цвета и запаха, он не поддерживает горение и задерживает процессы окисления. Газообразный азот применяется в нефтегазовой промышленности для следующих задач: защита от пожара и пожаротушение, системы поддержания пластового давления, бурение с отрицательным дифференциальным давлением, ремонт скважин, использование для очистки трубопроводов и вытеснения продуктов из трубопровода, пневмоприводы ответственных задвижек на трубопроводах.

При работе азотной компрессорной станции осуществляются следующие технологические операции:

- получения из атмосферного воздуха газообразного азота с концентрацией от 90 до 99,9999% непосредственно на месте потребления, для продувки аппаратов и для системы пожаротушения зданий потребителя.

Комплектация станции позволяет эксплуатировать ее в летнее и зимнее время года в различных климатических районах. В состав азотной станции входят: блок для получения азота из воздуха, два ресивера для хранения азота. Оборудование станции монтируется в стандартных по габаритным размерам утепленных контейнерах или блок-боксах с температурой эксплуатации от -50 до +50°C.

Кроме того, проводятся планово-предупредительные ремонты электрооборудования, выполняемые в сроки ремонтов основного технологического электрооборудования по составленным и утвержденным графикам ППР.

7.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность — система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих вероятность воздействия на работающих опасных травмирующих производственных факторов, возникающих в рабочей зоне в процессе трудовой деятельности.

Перечень опасных и вредных производственных факторов, характерные для конвертерного цеха представим в таблице 7.1

Таблица 7.1 – Опасные и вредные производственные факторы при выполнении работ в компрессорной станции:

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
<p>Виды работы:</p> <p>1. Техническое обслуживание;</p> <p>2. Осмотры электрооборудования;</p> <p>3. Обследование трубопровода профилеметром;</p> <p>4. Испытания;</p> <p>5. Текущий ремонт и капитальный ремонт электрооборудования и компрессорной установки</p> <p>Источники факторов:</p> <p>1. Электрооборудования и компрессорная установка</p> <p>2. Электроаппаратура различного типа</p>	<p>1. Недостаточная освещенность рабочей зоны;</p> <p>2. Запыленность и загазованность рабочей зоны;</p> <p>3. Напряженность электромагнитного поля;</p> <p>4. Повышенный уровень шума и рабочем месте;</p> <p>9. Отклонение показателей микроклимата</p>	<p>1. повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</p> <p>2. Получить механическую травму;</p>	<p>1. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ.[2]</p> <p>2. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ [3]</p> <p>3. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [4]</p> <p>4. СанПиН 2.2.4.548-96[5]</p> <p>5. ГОСТ 12.1.005-88 [6]</p> <p>6. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ [7]</p> <p>7. СанПиН 2.1.6.1032-01[8]</p> <p>8. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03[9]</p> <p>9. СанПиН 2.2.1/2.4.1340-03 [10]</p> <p>10. ГОСТ 12.0.003 ССБТ.[11]</p> <p>11. СанПиН П-12-77 [12]</p> <p>12. СН 2.2.4/2.1.8.556-96 [13]</p> <p>13. ПОТ Р М-016-2001 [14]</p> <p>14. ГОСТ 12.2.013-91 [15]</p> <p>15. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ [16]</p> <p>16. ГОСТ 12.1.005-88 [17]</p> <p>17. СанПиН 23.05.-95 [18]</p> <p>18. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ [19]</p> <p>19. ГОСТ Р 22.0.02-94 [20]</p> <p>20. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ [21]</p> <p>21.ГОСТ 12.1.050-86 ССБТ [22]</p> <p>22.ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ [23]</p> <p>23.ГОСТ 12.4.051-87 ССБТ [24]</p>

7.3 Анализ выявленных вредных факторов

7.3.1 Отклонение показателей микроклимата

Рабочим местом является зона приложения труда определенного работника или группы работников. При организации рабочего места необходимо учитывать требования безопасности, промышленной санитарии, эргономики, технической эстетики. Невыполнение этих требований может привести к получению работником производственной травмы. При планировании промышленных помещений необходимо соблюдать нормы полезной площади для работающих, а также объем промышленного помещения.

Основным рабочим местом персонала является площадь азотной компрессорной установки.

Компрессорная установка имеет следующие размеры:

- длина помещения – 9м,
- ширина помещения – 6м,
- высота помещения – 4м.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура воздуха в помещении, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха. Эти параметры в комплексе и по отдельности влияют на организм человека. В цехе во все периоды года поддерживается одна температура и относительная влажность (таблица 2).

Метеорологические условия – оптимальная и допустимая температура, относительная влажность и скорость движения воздуха – устанавливаются для рабочей зоны производственных помещений в соответствии с требованиями, исходя из категорий тяжести выполняемой работы, величины избытков явного тепла и периода года.

По степени физической тяжести работа персонала относится к категории средней тяжести работ. Работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 30 кг и сопровождающиеся допустимым физическим напряжением.

Допустимые параметры микроклимата производственных помещений в соответствии с [6] представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Допустимые и оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах азотной компрессорной установки

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, t°С	Относительная влажность воздуха, φ%	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин t° _{опт}	Диапазон выше оптимальных величин t° _{опт}			Если t° < t° _{опт}	Если t° > t° _{опт} ***
Холодный	Пб	15,0 - 16,9	19,1 - 22,0	14,0 - 23,0	15 – 75	0,2	0,4
Теплый	Пб	16,0 - 18,9	21,1 - 27,0	15,0 - 28,0	15 - 75 ***	0,2	0,5

*** При температурах воздуха 25°С и выше максимальные величины относительной влажности воздуха не должны выходить за пределы:

70% - при температуре воздуха 25° С; 65% - при температуре воздуха 26° С;

60% - при температуре воздуха 27° С; 55% - при температуре воздуха 28° С.

*** При температурах воздуха 26 - 28°С скорость движения воздуха в теплый период года должна соответствовать диапазону:

0,1 - 0,2 м/с - при категории работ Ia; 0,1 - 0,3 м/с - при категории работ Ib;

0,2 - 0,4 м/с - при категории работ IIa; 0,2 - 0,5 м/с - при категории работ IIб и

III.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.) должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 3 [6]. При наличии теплового облучения работающих температура воздуха на рабочих местах при категории работ Пб не должна превышать 21° С.

Таблица 7.3

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

Меры защиты от вредных производственных факторов:

1. Для защиты от воздействия повышенных температур необходимо применять спецодежду и при температуре выше 27°С. Должны быть ограждены горячие части действующего оборудования, устанавливаться общеобменная вентиляция;

2. Для защиты от воздействия низких температур применять спецодежду и спецобувь, кроме этого закрытые помещения должны отапливаться системами отопления. Также большое значение имеет подбор рационального режима труда и отдыха [1].

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха в помещениях в холодное время, а также безопасность в отношении пожаров и взрывов. Оптимальной является водяная система отопления, которая является гигиеничной, надежной в эксплуатации, требующей минимум затрат на обслуживание и обеспечивает возможность регулирования температуры в широких пределах.

3. Важным фактором, влияющим на организм человека, является скорость движения воздуха. Приток свежего воздуха определяется из расчета 50-60 м³/час на одного человека. Для оценки метеоусловий в помещениях производят измерения температуры, влажности, запыленности, скорости движения воздуха, интенсивности теплового излучения. Результаты измерений сравниваются с нормативами [17], согласно которым установлены следующие нормы ПДК вредных веществ: пыль – не более 4 мг/м³; углекислый газ – не более 20 мг/м³.

Для обеспечения требуемого микроклимата воздушной среды на территории установки предложена общеобменная искусственная вентиляция в сочетании с местной. При установке систем вентиляции и кондиционирования воздуха в помещениях необходимо соблюдать меры пожарной безопасности.

7.4 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Электробезопасностью является система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Персонал работает в непосредственной близости от установок. Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей станка);
- при соприкосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- имеется опасность короткого замыкания.

Для снижения полученного поражения электрическим током применяются деревянные трапы на всю длину зоны обслуживания, резиновые диэлектрические коврики, а также персоналу выдаются перчатки и спецодежда из резины. До выдачи все испытывается.

Все помещения делят на:

- помещения с повышенной опасностью;
- особо опасные помещения;
- помещения без повышенной опасности.

Согласно классификации помещений по опасности электропоражений помещение компрессорной установки относится к помещению с повышенной опасностью, т.е. оно характеризуется наличием токопроводящих полов.

Все меры обеспечения безопасности эксплуатации электроустановок можно разделить на подгруппы.

7.5 Организационные мероприятия:

- оформление работ нарядом, распоряжением или в порядке текущей эксплуатации
- допуск к работе
- надзор во время работы
- оформление перерывов и окончания работ

7.6 Технические мероприятия:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых должна быть проведена работа, и принятие мер, в результате которых становится невозможна подача напряжения к месту работы;
- вывешивание запрещающих плакатов;
- проверка отсутствия напряжения на участке работ и наложение на токоведущие части заземлений;
- ограждение места работ и вывешивание указывающих плакатов;

7.7 Эксплуатационные мероприятия:

- при любой неисправности необходимо обращаться к ответственному за помещение компрессорной установки;
- персоналу не разрешается разбирать оборудование, работать в верхней одежде и другое.

Длительное положение оператора компрессорной установки стоя, монотонность труда, напряжение зрения приводит к физической усталости человека, снять которое поможет так называемая зарядка для глаз, разминка для тела.

Оптимальная организация режима труда и отдыха, рациональная организация трудового процесса позволяет снизить перегрузки при умственном труде.

7.8 Освещенность.

Недостаточное освещение рабочего места и помещения является вредным фактором для здоровья человека, вызывающим ухудшение зрения. Неудовлетворительное освещение может, кроме того, являться причиной травматизма. Неправильная эксплуатация, так же как и ошибки, допущенные при проектировании и устройстве осветительных установок, могут привести к пожару, несчастным случаям. При таком освещении снижается производительность труда и увеличивается количество допускаемых ошибок.

Основные требования, которые предъявляются к освещению, заключаются в том, чтобы с его помощью создать наиболее благоприятные условия для работы зрительного аппарата человека. Кроме того, оно должно удовлетворять вопросам экономичности, надежности и безопасности.

В помещении котельной используется комбинированное освещение (общее и местное), искусственное и естественное. Для обеспечения требуемого освещения произведем расчет искусственной освещенности.

Искусственное освещение устраивается во всех основных и вспомогательных помещениях производственных зданий.

Согласно санитарно – гигиеническим требованиям рабочее место должно освещаться естественным и искусственным освещением. Персонал котельной следит за контролируемыми параметрами с местного пульта управления, напрягая при этом зрение. По нормам освещения и отраслевым нормам освещения рекомендуется 300 - 500 лк при общем освещении.

7.9 Произведем расчет освещенности.

Длина помещения (А) – 9м.

Ширина помещения (В) – 6м.

Высота помещения (Н) – 4 м.

Высота рабочей поверхности (h) – 1,1 м.

Коэффициент отражения стен (ρ_c) – 10%

Коэффициент отражения потолка (ρ_n) – 30%

Коэффициент запаса (К) – 1,6

Коэффициент неравномерности (Z) – 1,1

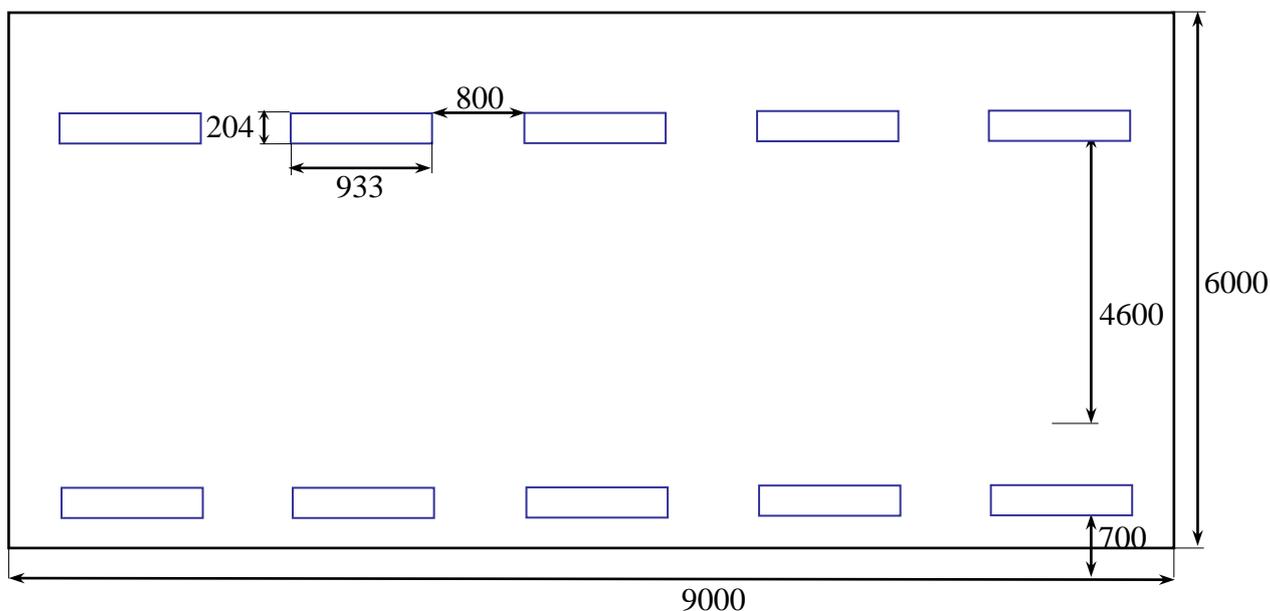


Рисунок 7.1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

1. Выбираем светильники ОДР-2-30 и располагаем их согласно рисунку 7.1, учитывая, что длина светильников: 933 мм., ширина: 204 мм. Высота подвеса над полом: 3,5 м.

Расстояние от светильников до стен выбираем 0.7 – 0.8 м. ($\approx 1/3 L$)

2. Найдём индекс помещения :

$$i = \frac{S}{h(A+B)} = \frac{24}{2,4(9+6)} = \frac{24}{36} = 0,67$$

где S – площадь помещения, м²;

h – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м;

A, B – стороны помещения, м.

3. По таблицам находим:

- коэффициент использования: 48%
- минимальная освещённость: 300 лк

4. Величина светового потока лампы определяется по формуле:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 1,6 \cdot 54 \cdot 1,1}{20 \cdot 0,48} = 2970 \text{ лк}$$

где F – световой поток каждой из ламп, лм;

E – минимальная освещённость, лк;

K – коэффициент запаса;

S – площадь помещения, м²

n – число ламп в помещении;

η – коэффициент использования светового потока;

Z – коэффициент неравномерности освещения.

Выбираем 20 люминесцентных ламп типа ЛБ2180-140 со световым потоком 3000 лм. по 2 шт. в каждый светильник.

7.10 Напряженность электромагнитного поля

Нормирование ЭМП промышленной частоты осуществляется по предельно допустимым уровням напряженности электрического и магнитного поля частотой 50 Гц в зависимости от времени пребывания в нем

«Электромагнитные поля в производственных условиях» .

Источники электромагнитных полей являются кабели, трансформаторы, шинопроводы, устройства защиты и автоматики, и др.

Предельно допустимый уровень напряженности ЭП на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м. При напряженности свыше 20 до 25 кВ/м допустимое время пребывания в ЭП составляет 10 мин. Пребывание в ЭП с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается. Напряженность магнитного поля в соответствии с предельно допустимым уровнем на рабочем месте не должна превышать 8 кА/м.

К основным методам защиты относятся:

- выбор рациональных режимов работы оборудования;
- ограничение места и времени нахождения работающих в ЭМП;
- защита расстоянием;
- рациональное размещение в рабочем помещении оборудования;
- уменьшение мощности источника излучений;
- использование поглощающих или отражающих экранов;

Применение средств индивидуальной защиты: специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани, очки с латунной сеткой вместо стекла, очки со стеклом, покрытым слоем полупроводникового материала, специальные каски и шлемы.

7.11 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Шум – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности. Он может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, преобразователями напряжения, работающими осветительными приборами дневного света, а так же проникает извне. В азотной компрессорной установке присутствует постоянный шум от работающих компрессоров.

В результате исследований установлено, что шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека. Действие шума различно: затрудняет разборчивость речи, вызывает снижение работоспособности, повышает утомляемость, вызывает изменения в органах слуха человека, ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция.

Предельно допустимые значения, характеризующие шум и вибрацию регламентируются. Норма эквивалентного уровня звука в помещении цеха равна 60 дБ по шкале А.

7.12 Экологическая безопасность

Влияние выбросов в атмосферу на экологическую обстановку планеты и здоровья всего человечества крайне неблагоприятно. Практически постоянно в воздух попадает и рассеивается по нему масса различных соединений, и некоторые распадаются крайне долго.

7.13 Вещества, загрязняющие атмосферу

Основные составляющие атмосферного воздуха – азот (78%) и кислород (21%). Доля инертного газа аргона – чуть меньше процента. Концентрация диоксида углерода составляет 0,03%. В малых количествах в атмосфере также присутствуют:

- озон,
- неон,
- метан,

- ксенон,
- криптон,
- закись азота,
- двуокись серы,
- гелий и водород.

В чистых воздушных массах окись углерода и аммиак присутствуют в виде следов. Помимо газов, в атмосфере есть водяные пары, кристаллы соли, ПЫЛЬ.

7.14 Основные загрязнители воздушной среды:

- Диоксид углерода – парниковый газ, влияющий на теплообмен Земли с окружающим пространством, а значит, и на климат.
- Оксид углерода или угарный газ, попадая в организм человека или животного, вызывает отравление (вплоть до летального исхода).
- Углеводороды – токсичные химические вещества, раздражающие глаза и слизистые оболочки.
- Производные серы способствуют образованию кислотных дождей и усыханию растений, провоцируют болезни дыхательных путей и аллергию.
- Производные азота приводят к воспалениям лёгких, крупам, бронхитам, частым простудам, усугубляют течение сердечнососудистых заболеваний.
- Радиоактивные вещества, накапливаясь в организме, становятся причиной рака, генных изменений, бесплодия, преждевременной смерти.

Особую опасность для здоровья человека представляет воздух с тяжёлыми металлами. Такие загрязнители, как кадмий, свинец, мышьяк, приводят к

возникновению онкологии. Вдыхаемые ртутные пары не действуют молниеносно, но, откладываясь в виде солей, разрушают нервную систему. В значительной концентрации вредны и летучие органические вещества: терпеноиды, альдегиды, кетоны, спирты. Многие из этих загрязнителей воздуха являются мутагенными и канцерогенными соединениями.

7.15 Источники и классификация атмосферного загрязнения

Исходя из природы явления, различают следующие виды загрязнений воздуха: химическое, физическое и биологическое.

- В первом случае в атмосфере наблюдается повышенная концентрация углеводородов, тяжёлых металлов, диоксида серы, аммиака, альдегидов, окислов азота и углерода.
- При биологическом загрязнении в воздухе присутствуют продукты жизнедеятельности различных организмов, токсины, вирусы, споры грибов и бактерий.
- Большое количество пыли или радионуклидов в атмосфере свидетельствует о физическом загрязнении. К этому же виду относят последствия тепловых, шумовых и электромагнитных выбросов.

На состав воздушной среды влияет как человек, так и природа. Естественные источники загрязнения атмосферы: вулканы в период активности, лесные пожары, почвенная эрозия, пыльные бури, разложение живых организмов. Мизерная доля влияния приходится и на космическую пыль, образующуюся в результате сгорания метеоритов.

Антропогенные источники загрязнения атмосферного воздуха:

- предприятия химической, топливной, металлургической, машиностроительной промышленности;
- сельскохозяйственная деятельность (распыление пестицидов с помощью авиации, отходы животноводства);
- теплоэнергетические установки, отопление жилых помещений углём и дровами;
- транспорт (самые «грязные» виды – самолёты и автомобили).

Литосфера – твердая оболочка Земли, включающая земную кору и верхнюю мантию. Человек практически воздействует только на верхние горизонты земной коры в результате добычи полезных ископаемых, ядерных испытаний и захоронении высокотоксичных отходов. Наибольшей трансформации подвергается самый верхний слой литосферы, называемый почвой. Почва образуется и развивается в результате взаимодействия живого и неживого, поэтому она рассматривается в настоящее время как биокосное образование. Почва является гигантской экологической системой, оказывающей, наряду с Мировым океаном, решающее значение на всю биосферу. Она активно участвует в круговороте веществ и энергии в природе, поддерживает газовый состав атмосферы Земли.

Сохранение плодородных почв под земледельческими угодьями, пастбищами и лесами – основное условие устойчивого развития человечества. Тем не менее, ежегодно более 300 кв. км. становятся бесплодными из-за разнообразных проявлений недалёковидного хозяйствования.

Человек сокращает территории, занимаемые естественными экосистемами. Подсчитано, что 9 - 12% поверхности суши распаханно еще 22 - 25% составляют полностью или частично окультуренные пастбища. 458 экваторов - та-

кова протяженность дорог на планете. В одних лишь промышленно развитых странах, по данным ООН, под бетоном автострад, населенных пунктов, аэропортов ежегодно исчезает более 3000 км² ландшафта.

7.16 Воздействие на литосферу (Твердые отходы)

Литосфера загрязняется главным образом:

1 Нефтью и нефтепродуктами, которые постоянно перевозят и довольно часто разливают на поверхности воды или суши, что приводит к серьезным экологическим катастрофам;

2 Соединениями тяжелых металлов, являющимися высокотоксичными веществами;

3 Хлорорганическими соединениями, в основном, - пестицидами, применяемыми для борьбы с вредителями в сельском хозяйстве, а также диоксинами - высокотоксичными хлор - и бромсодержащими ароматическими соединениями;

4 Радиоактивными отходами, образующимися при работе атомных электростанций, а также в результате конверсии .

Виды загрязнений литосферы:

1 Механические загрязнения - это тела, не растворимые в воде, химически относительно инертные и занимающие площади на поверхности Земли - территории или акватории. В природе мусор не образуется.

Мусор появился только как результат существования и хозяйственной деятельности человека. Под мусорными свалками заняты колоссальные территории, которые могли бы быть пахотными землями.

А поскольку пахотные площади, как уже было сказано ранее, на Земле ограничены, очевидно, что человечеству придется уже в ближайшее время освободить территории, занятые под свалками, для более рационального их использования.

2 Физические загрязнения проявляются в отклонении от нормы физических свойств окружающей среды. В основном это разнообразные излучения, воздействующие на биосферу. К ним относятся звуковые волны , различные виды электромагнитного излучения: радиоактивное, рентгеновское, ультрафиолетовое, видимое , инфракрасное , микроволновое, а также радиоволны; источниками электромагнитного загрязнения являются и высоковольтные линии электропередачи.

3 Химическими загрязнениями можно считать все растворимые в воде вещества, не входящие в естественные трофические цепи. Такие вещества можно условно разделить на неорганические и органические.

4 Неорганические загрязнения - это катионы тяжелых металлов и анионы-нитраты и арсенаты, а также газы - угарный, углекислый, оксиды серы и азота, о которых уже было сказано ранее.

В процессе деятельности цеха предприятия образуются промышленные отходы. Отходы, которые в дальнейшем могут быть использованы в производстве собираются, складироваются и по мере их накопления отправляются на переработку. Отходы, не подлежащие переработке и дальнейшему использованию передаются специализированным организациям для дальнейшей утилизации и размещения на объектах отходов.

В целях общего улучшения состояния окружающей среды мероприятиями по обеспечению благоприятных условий жизни населения предусматривается:

1. Озеленение и благоустройство территории предприятия;
2. Содержание дорог, тротуаров и прилегающих озелененных территорий в соответствии с санитарными требованиями;
3. Ликвидация несанкционированных свалок отходов;
4. Создание и обустройство санитарно-защитной зоны предприятия.

7.17 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) - обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [17].

По происхождению ЧС можно подразделять на ситуации техногенного, антропогенного и природного характера. Чрезвычайные ситуации подразделяются на локальные, местные, территориальные, региональные, федеральные и трансграничные.

Энергетика является одним из самых ответственных звеньев народного хозяйства, от которой зависит быстрая ликвидация последствий ЧС и функционирование всего производства.

Внешние причины - результат стихийных бедствий и особо опасных инфекций, терроризм, войны;

- возникновение внешних природных факторов, приводящих к старению или коррозии металлов, конструкций, сооружений и снижение их физико-механических показателей;
- проектно-производственные дефекты сооружений (ошибки при проектировании, низкое качество выполнения строительных работ, плохое качество строительных материалов, нарушение в технологии строительства);
- воздействие технологических процессов промышленного производства на материалы сооружений (нагрузки, скорость, высокие температуры, вибрация);
- нарушение правил эксплуатации сооружений и технологических процессов (взрывы котлов, химических веществ, угольной пыли и т.д.):

— ошибки, связанные с системой отбора руководящих кадров, низким уровнем профессиональной подготовки рабочих.

Под устойчивостью функционирования организации в ЧС понимается ее способность предупреждать возникновение аварий и катастроф, противостоять воздействию их поражающих факторов в целях предотвращения или ограничения угрозы жизни, здоровью персонала, проживающего вблизи населения, снижения материального ущерба, а также обеспечивать восстановление нарушенного производства в минимально короткие сроки.

Под повышением устойчивости функционирования организации в ЧС понимается комплекс мероприятий по предотвращению или снижению угрозы жизни и здоровью персонала и проживающего вблизи населения и материального ущерба в ЧС, а также подготовке к проведению спасательных и других неотложных работ в зоне ЧС.

Оценка устойчивости осуществляется, как правило, по следующим основным направлениям:

- вероятность возникновения чрезвычайной ситуации на самом объекте или вблизи него и как это повлияет на его жизнедеятельность;
- физическая устойчивость зданий и сооружений;
- надежность защиты персонала;
- устойчивость системы управления;
- надежность материально-технического снабжения и производственных связей;
- готовность объекта к восстановлению нарушенного производства.

Для повышения устойчивости функционирования организации проводятся организационные, инженерно-технические и специальные мероприятия.

Организационными мероприятиями обеспечиваются заблаговременная разработка и планирование действий органов управления, сил и средств, всего персонала объектов при угрозе возникновения и возникновении ЧС.

Такие мероприятия включают:

- прогнозирование последствий возможных ЧС и разработку планов действий как на мирное, так и на военное время, учитывая весь комплекс работ в интересах повышения устойчивости функционирования объекта;
- создание и оснащение центра аварийного управления объекта и локальной системы оповещения;
- подготовку руководящего состава к работе в ЧС;
- создание специальной комиссии по устойчивости и организацию ее работы;
- разработку инструкций (наставлений) по снижению опасности возникновения аварийных ситуаций, безаварийной остановке производства, локализации аварий и ликвидации последствий, а также по организации восстановления нарушенного производства;
- обучение персонала соблюдению мер безопасности, порядку действий при возникновении чрезвычайных ситуаций, локализации аварий и тушению пожаров, ликвидации последствий и восстановлению нарушенного производства;
- подготовку сил и средств локализации аварийных ситуаций и восстановления производства;
- подготовку эвакуации населения из опасных зон;
- определение размеров опасных зон вокруг потенциально опасных объектов;
- проверку готовности систем оповещения и управления в ЧС;
- организацию медицинского наблюдения и контроля за состоянием здоровья лиц, получивших различные дозы облучения.

Инженерно-техническими мероприятиями осуществляется повышение физической устойчивости зданий, сооружений, технологического оборудования и в целом производства, а также создание условий для его быстрого восстановления, повышения степени защищенности людей от поражающих факторов ЧС.

К ним относятся:

- создание на всех опасных объектах системы автоматизированного контроля за ходом технологических процессов, уровнем загрязнения помещений и воздушной среды цехов опасными веществами и пылевыми частицами;
- создание локальной системы оповещения о возникновении ЧС персонала объекта, населения, проживающего в опасных зонах (радиационного, химического и биологического заражения, катастрофического затопления и т.п.);
- накопление фонда защитных сооружений и повышение защитных свойств убежищ и ПРУ в зонах возможных разрушений и заражения;
- противопожарные мероприятия;
- сокращение запасов и сроков хранения взрыво-, газо- и пожароопасных веществ, обвалование емкостей для хранения, устройство заглубленных емкостей для слива особо опасных веществ из технологических установок;
- безаварийная остановка технологически сложных производств;
- локализация аварийной ситуации, тушение пожаров, ликвидация последствий аварии и восстановление нарушенного производства;
- дублирование источников энергоснабжения;
- защита водоисточников и контроль качества воды;
- герметизация складов и холодильников в опасных зонах;
- защита наиболее ценного и уникального оборудования.

Одними из наиболее вероятных и разрушительных видов ЧС являются пожар или взрыв на рабочем месте. Пожарная безопасность представляет собой единый комплекс организационных, технических, режимных и эксплуатационных мероприятий по предупреждению пожаров и взрывов.

Категорий помещения по взрывопожарной и пожарной опасности определяется в соответствии с [24, 25]. Согласно [24] помещения азотной компрессорной установки относятся к категории ВЗ (наличие горючих веществ в малом количестве).

Причины возникновения пожара на рабочем месте:

- неисправность технологического оборудования;
- короткое замыкание в электроустановке;
- конструктивные недостатки оборудования или приборов;
- дефекты проекта, изготовления, монтажа, строительства, ремонта;
- нарушение правил эксплуатации оборудования или приборов;
- нарушение правил пожарной безопасности;
- ошибочные или неправильные действия персонала, ответственного за противопожарное состояние объекта;
- нарушение правил проведения огнеопасных работ;
- самовозгорание веществ и материалов;
- поджог;
- взрыв;
- воздействие стихийных явлений.

В соответствии с [26] пожарная безопасность обеспечивается соответствующим устройством и эксплуатацией энергооборудования, зданий, сооружений. На руководителей энергоуправлений возлагается персональная ответственность и общее руководство организацией пожарной безопасности, а на их заместителей – выполнение противопожарных мероприятий, контроль за соблюдением установленного противопожарного режима.

В целях предотвращения пожара предусматриваются следующие меры [19]:

- предотвращение образования горючей среды;
- предотвращение образования в горючей среде или внесения в нее источников зажигания;
- поддержание температуры и давления горючей среды ниже максимально допустимых по горючести;
- уменьшение определяющего размера горючей среды ниже максимально допустимого по горючести.

Противопожарная защита должна достигаться применением одного из следующих способов или их комбинацией:

- применением средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники;
- применением автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения;
- применением основных строительных конструкций и материалов, в том числе используемых для облицовок конструкций, с нормированными показателями пожарной опасности;
- применением пропитки конструкций объектов антипиренами и нанесением на их поверхности огнезащитных красок (составов);
- устройствами, обеспечивающими ограничение распространения пожара;
- организацией с помощью технических средств, включая автоматические, своевременного оповещения и эвакуации людей;
- применением средств коллективной и индивидуальной защиты людей от опасных факторов пожара;
- применением средств противодымной защиты.

Организационно-технические мероприятия должны включать:

- организацию пожарной охраны, организацию ведомственных служб пожарной безопасности в соответствии с законодательством РФ;
- паспортизацию веществ, материалов, изделий, технологических процессов, зданий и сооружений объектов в части обеспечения пожарной безопасности;
- привлечение общественности к вопросам обеспечения пожарной безопасности;
- организацию обучения работающих правилам пожарной безопасности на производстве, а населения — в порядке, установленном правилами пожарной безопасности соответствующих объектов пребывания людей;
- разработку и реализацию норм и правил пожарной безопасности, инструкций о порядке обращения с пожароопасными веществами и материалами, о соблюдении противопожарного режима и действиях людей при возникновении пожара;
- изготовление и применение средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности;
- порядок хранения веществ и материалов, тушение которых недопустимо одними и теми же средствами, в зависимости от их физико-химических и пожароопасных свойств;
- нормирование численности людей на объекте по условиям безопасности их при пожаре;
- разработку мероприятий по действиям администрации, рабочих, служащих и населения на случай возникновения пожара и организацию эвакуации людей.

Производственные, вспомогательные, административные здания должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения в соответствии с действующими нормами пожарной безопасности. К первичным средствам пожаротушения относят все виды переносных и передвижных огнетушителей, оборудование пожарных кранов, пожарных щитов, ящиков с песком, а также огнестойкие ткани.

Для обозначения мест расположения первичных средств пожаротушения следует устанавливать специальные знаки, отвечающие требованиям [28].

Согласно [29] помещения азотной компрессорной установки, в которых расположены панели РЗиА, рекомендуется оснащать переносными углекислотными огнетушителями: два огнетушителя типа ОУ-5(8) или один типа ОУ-25.

Огнетушители, имеющие полную массу менее 15 кг, должны быть установлены таким образом, чтобы их верхняя часть располагалась на высоте не более 1,5 м от пола; огнетушители, имеющие полную массу 15 кг и более, должны устанавливаться на высоте не более 1,0 м от пола. Они могут устанавливаться на полу с обязательной фиксацией от возможного падения при случайном воздействии. Огнетушители не должны создавать препятствий при передвижении в помещениях.

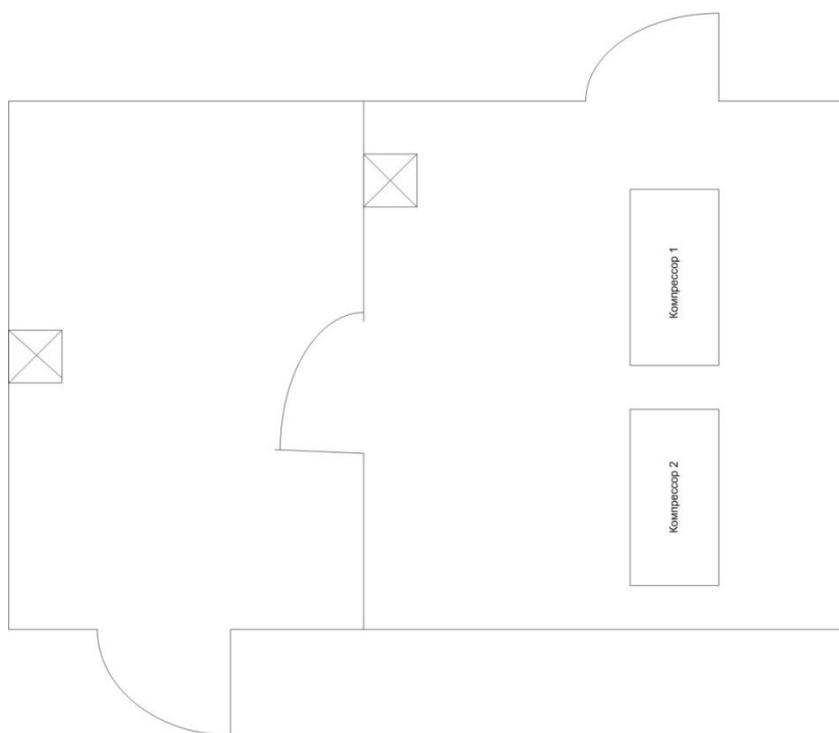


Рисунок 7.2 – План эвакуации персонала при пожаре


 Расположения огнетушителя типа ОУ-5

7.18 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Под вредными условиями труда следует понимать присутствие на производстве таких факторов, которые наносят ущерб здоровью работников. То есть на рабочих местах не соблюдены определенные гигиенические требования, что может оказывать отрицательное воздействие на дееспособность служащих, а также на здоровье их возможных детей.

Работникам предприятия приходится часто выполнять различные операции, сопряженные с прямым риском здоровью (вредные условия труда). Такие сферы деятельности и специальности, связанные с вредными условиями труда, указываются в Постановлении Правительства РФ от 29.03.2002 г. №188 «Об утверждении списков производств, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право гражданам, занятым на работах с химическим оружием, на меры социальной поддержки» [37], Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда» [38].

Люди, работающие на вредных производствах, обеспечиваются льготами и компенсациями, Трудовой кодекс РФ, ст. 165 «Случаи предоставления гарантий и компенсаций».

Компенсация за вредные условия труда и ее размер устанавливаются на основании статей Трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия.

Ежегодно на социальные программы предприятие выделяет средства. Сюда входит:

- организация санаторно-курортного лечения, оздоровление работников и их детей;
- оказание медицинских услуг;
- развитие корпоративного спорта и культурно-массовой деятельности;
- материальное поощрение работников к юбилеям и знаменательным датам;
- материальная помощь работникам, нуждающимся в дополнительной социальной поддержке;

- единовременные компенсационные выплаты увольняющимся работникам в связи с выходом на пенсию;
- пенсионные социальные программы, предусматривающие досрочное оформление пенсии работникам;
- выплаты ежеквартальной материальной помощи для частичного покрытия расходов по квартплате, коммунальным услугам, приобретению угля на зимний период, а также единовременной материальной помощи на оплату медикаментов и т.д.

Сотрудники предприятия имеют ряд социальных гарантий, а также спектр финансовых льгот, таких как социальное страхование, кредитование, материнские выплаты. Предусмотрено бесплатное обучение в ВУЗах, регулярное повышение квалификации.

К организационным мероприятиям, обеспечивающим, безопасность работ электромонтера согласно Межотраслевым правилам по охране труда относятся:

- инструктаж;

- оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончание работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе был разработан и исследован регулируемый электропривод винтового компрессора фирмы Atlas Copco на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. В ходе работы рассчитаны и построены электромеханические и механические характеристики электропривода и нагрузки, на основании которых была проведена проверка правильности выбора двигателя и преобразователя. Путем имитационного моделирования исследованы все основные режимы работы: пуск на минимальную и максимальную скорость, сброс и наброс нагрузки, останов.

Полученные результаты имитационных исследований доказывают, что частотно-регулируемый асинхронный электропривод компрессора под «вентиляторной» нагрузкой при скалярном управлении с законом управления $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и корректировкой вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3) обеспечивает пуск электропривода с начальной частоты $f_{\text{и. мин}} = 5$ Гц и требуемый диапазон регулирования скорости компрессора. Переходные процессы в электроприводе протекают плавно с ограничением динамического момента, токов двигателя и преобразователя. Время пуска и электрического торможения электропривода определяется и может быть изменено путём выбора значения постоянной времени задатчика скорости. Спроектированный электропривод полностью отвечает условиям технического задания.

Список использованных источников

1. Промышленная группа ООО «Грасис», Руководство по эксплуатации.
2. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о мембранной технологии получения азота из воздуха – Режим доступа [http://s-ng.ru/pdf/main_2154.pdf/](http://s-ng.ru/pdf/main_2154.pdf) дата обращения 10.01.2018.
3. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о расчете мощности винтового компрессора – Режим доступа: <http://physics-lectures.ru/molekulyarnaya-fizika-i-termodinamika/9-9-adiabatcheskij-process/> дата обращения 10.01.2018.
4. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о винтовом компрессоре – Режим доступа: <http://compressor02.ru/vintovye> <http://www.fiak.ru/articles.phtml?art=39/> дата обращения 12.02.2018.
5. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о компрессоре фирмы Atlas Copco GA22+13FF –
Режим доступа: http://aerocompressors.ru/..atlas_copco...atlas...ga...ga2213ff, дата обращения 10.02.2018.
6. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: Учеб.пособие для вузов.-2-е изд., доп. – М.: Высш.шк..2000. – 255с.,ил.
7. 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.
8. Электрический привод: учебно-методическое пособие / А.Ю. Чернышев, С.И. Качин, И.А. Чернышев; Томский политехнический университет, – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 156с.
9. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о преобразователях частоты серии VLT 2800 фирмы Danfos – Режим доступа: <http://rosprivod.com/DANFOSS>
- 10.Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: Учеб.пособие для вузов.-2-е изд.,доп. – М.: Высш.шк..2000. – 255с.,ил.

11. Электрический привод: учебно-методическое пособие / А.Ю. Чернышев, С.И. Качин, И.А. Чернышев; Томский политехнический университет, – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 156с.
12. 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.
13. А.Ю. Чернышев. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 218с.
14. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского.- М.: Энергоатомиздат, 1983.-616 с. ил.
15. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учебное пособие / О. П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин; Томский политехнический университет. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. – 476 с.
16. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о регулировании скорости в винтовом компрессоре - Режим доступа: http://www.kompressory.ru/SAVE_ENERGY/
17. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о преобразователя частоты серии Micromaster 420 – Режим доступа: [http://www.promautomatic.ru/MICROMASTER.html]
18. Трудовой кодекс РФ.
19. Раздорожный А.А. Охрана труда и производственная безопасность: учебник. – М.: Издательство «Экзамен», 2006. – 510с.
20. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов/ Белов С.В., Ильницкая А.В., Козьяков А.Ф. и др. Под общ. ред. С.В. Белова, 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая шк. 1999. – 448с.

21. Кукин П.П., Лапин В.Л. и др. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. (Охрана труда): Учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1999. - 318с.
22. Охрана труда: Учебник для студентов вузов/ Князевский Б.А., Долин П.А., Марусова Т.П. и др. – 2-е изд., перераб и доп. – М.: Высш. школа, 1982. – 311с.
23. Охрана природы: Факульт. Курс: пособие для учащихся, под ред. К.В. Пашканга. – 2-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1990.
24. Протасов В.Ф., Молчанов А.В. Экология, здоровье и природопользование в России. – М.: Финансы и статистика, 1995. – 528.
25. Раздорожный А.А. Безопасность производственной деятельности: Учеб. пособие – М.: ИНФРА-М, 2003 – 208с.
26. Справочник по защите от шума и вибрации жилых и общественных зданий / В.И. Заборов, М.И. Могилевский, В.Н. Мякшин, Е.П. Самойлюк; Под ред. В.И. Заборова. – Киев: Будивэльнык, 1989. – 160с.
27. Ушаков К.З., Каледина Н.О., Кирин Б.Ф., Сребный М.А. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов/ Под ред. Ушакова К.З. – 2-е изд., стер. – М.: Издательство МГГУ, 2005. – 529 с.
28. ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
29. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01. 07. 92).
30. ГОСТ 12.1.003–83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
31. СН 2.2.4/2.1.8562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
32. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
33. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- 34.ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

35. ГОСТ 12.4.125-83. ССБТ. Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов. Классификация.
36. Правила устройства электроустановок. 6-ое изд. с изм. и дополн. – СПб.: ДЕАН, 1999. – 320 с.
37. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывоопасной и пожарной опасности.
38. Федосова В.Д. Расчет искусственного освещения. Метод. указания. – Томск: Изд-во ТПУ, 1991. – 23с.
39. ГОСТ 17.1.3.06-82 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод».
40. ГОСТ 17.2.1.03-84 «Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения».
41. ГОСТ 17.1.3.13-86 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения».
42. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (охрана труда): Учеб. Пос. для вузов//П.П. Кукин, В.Л. Лапшин, Е.А. Подгорных и др.—М.: Высш. Шк. 1999.-318с.
43. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
44. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Защитное заземление. Зануление.
45. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновений и токов.
46. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
47. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
48. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с изм.1990г.).
49. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населённых мест.
50. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

51. СанПин 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
52. ГОСТ 12.1.003–83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
53. СНиП П-12-77. Защита от шума
54. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий
55. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
56. СН 2.2.4/2.1.8.556-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
57. ПОТ Р М-016-2001. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок
58. *гост 12.2.013-91* ССБТ. Машины ручные электрические. Общие требования безопасности и методы испытания.
59. Правила устройства электроустановок.6-е изд. С изм.и дополн.— Спб,1999.—123с.
60. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
61. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
62. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
63. РД 34.03.350-98. Перечень помещений и зданий энергетических объектов РАО "ЕЭС России" с указанием категорий по взрывопожарной и пожарной опасности.
64. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
65. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (утв. приказом Минэнерго РФ от 19 июня 2003 г. N 229).
66. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
67. ГОСТ Р 22.0.02-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий.
68. ГОСТ 12.1.003–83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
69. ГОСТ 12.1.050-86 (2001) ССБТ. Методы измерения шума на рабочих местах.

70. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация
71. ГОСТ 12.4.051-87 ССБТ. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования и методы испытаний
72. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий
73. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов/С. В. Белов, А. В. Ильницкая, А. Ф. Козьяков и др.; Под общ. ред. С. В. Белова. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1999. – 448 с.: ил
74. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях