

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

Институт электронного образования

Направление подготовки 13.03.02.-Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Кафедра электропривода и электрооборудования

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Частотно – регулируемый электропривод винтового компрессора
УДК: 62-83-523:621.864:550.832

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Мозговой Сергей Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Иван Георгиевич	Кандидат технических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделы «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко Аркадий Альбертович	Кандидат технических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	Кандидат технических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дементьев Юрий Николаевич	Кандидат технических наук		

Томск-2017г.

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

Институт электронного образования
Направление подготовки 13.03.02.-Электротехника и электротехника (бакалавриат)
Кафедра электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой _____ Ю.Н.Дементьев
«__» _____ 2017 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студент:

Группы	ФИО
З-5Г2А1	Мозговой Сергей Александрович

Тема работы:

Частотно –регулируемый электропривод винтового компрессора	
Утверждена приказом директора (номер, дата)	№3420/с от 16.05.2017г.

Срок сдачи студентом выполненной работы	01.06.2017г.
---	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация, методические пособия по компрессорным установкам
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Подробное изучение винтового компрессора, выбор двигателя, частотного преобразователя, обзор систем управления и способов регулирования электропривода, системы преобразователь – двигатель при частотном регулировании
Перечень графического материала	Схема подключения частотного преобразователя Micromaster 430, Структурная схема «ПЧ-АД», Имитационная модель системы «ПЧ-АД» в среде Matlab Simulink.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко Аркадий Альбертович
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович
Названия разделов которые должны написаны на русском и иностранном языках	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	06.03.2017г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Учёная степень звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Иван Георгиевич	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Мозговой Сергей Александрович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит пояснительную записку, включающую страницы рисунков, графиков, таблиц, приложений, источников.

Оборудование винтового компрессора, асинхронный частотно-регулируемый электропривод, преобразователь частоты, имитационная модель, механические и электромеханические характеристики.

Объектом исследования является винтовой компрессор для подачи сжатого воздуха в пневмооборудовании, завода по производству плит из вспененного полистирола «Стирекс».

Цель работы – расчет параметров компрессорного оборудования, повышение технических показателей, с помощью преобразователя частоты.

В данной выпускной квалификационной работе произведён расчет по выбору электропривода и преобразователя частоты для управления компрессором. Обоснован выбор способа управления, рассчитаны механические и электромеханические характеристики.

Методом имитационного моделирования на ЭВМ исследованы переходные процессы, сделаны некоторые выводы и обобщения по результатам моделирования и расчета.

В экономическом разделе выполнена оценка инвестиций в модернизацию компрессорной установки.

В разделе безопасности и экологии проекта рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности. Проведён анализ опасных и вредных факторов производства.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word на листах белой бумаги формата А 4 с помощью программных сред Matlab, Mathcad и представлена на дискете.

Содержание

Введение.....	8
1 Обзор компрессоров.....	9
1.1 Краткая характеристика винтового компрессора.....	10
1.2 Устройство и принцип работы винтового компрессора.....	14
2 Расчет мощности винтового компрессора.....	17
2.1 Выбор электродвигателя для компрессора и расчет его параметров.....	18
2.2 Расчет параметров схемы замещения электродвигателя.....	19
2.3 Расчет естественных характеристик электродвигателя.....	24
2.3.1 Расчет естественной механической характеристики.....	25
2.3.2 Расчет естественной электромеханической характеристики.....	26
2.3.3 Механическая характеристика компрессора.....	28
3 Обзор систем управления и способов регулирования электропривода.....	30
3.1 Системы управления электроприводом.....	30
3.2 Выбор преобразователя частоты.....	31
4 Расчет статических характеристик системы преобразователь – двигатель при частотном регулировании.....	35
4.1. преобразователь – двигатель при частотном регулировании.....	35
4.2 семейство характеристик при частотном регулировании.....	36
5 Частотно-регулируемый асинхронный электропривод скалярным управлением.....	41
5.1 Проверка адекватности имитационной модели асинхронного двигателя в программной среде Matlab.....	41
5.2. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода компрессора со скалярным управлением.....	43
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	48
6.1 Оценка научно-технического уровня частотного преобразователя.....	51
6.2 Планирование проектных работ.....	53

6.3 Расчет затрат и договорной цены на проектирование и проведение НИОКР.....	67
6.4 Определение затрат на осуществление.....	72
7. Социальная ответственность	74
7.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	76
7.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на работающих.....	78
7.3 Экологическая безопасность.....	91
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	92
7.4.1. Пожарная и взрывная безопасность.....	92
7.4.2 Безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и социального характера.....	94
Заключение.....	97
Литература.....	98

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Винтовой компрессор предназначен для подачи сжатого воздуха в пневмооборудовании, завода по производству плит из вспененного полистирола «Стирекс».

Рассчитать электропривод компрессора со следующими параметрами:

Технические требования и условия

Режим работы – продолжительный, нагрузка реактивная;

- номинальная мощность двигателя $P_n = 15 \text{ кВт}$;

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

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

Отклонение от заданной частоты на нижней рабочей скорости не более 10 %.

Электродвигатель должен иметь степень защиты не ниже IP56.

Преобразователь частоты должен быть предназначен для работы при температуре окружающего воздуха от плюс 10 до плюс 50 °С и относительной влажности не более 85 %.

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

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

ВВЕДЕНИЕ

Будущее человека имеет прямую зависимость от вопросов энерго и ресурсосбережения. Чем больше мы потребляем, тем чаще ощущаем недостаток энергии, тем выше энергетические затраты. Проблема энергосбережения и экономии занимает первое место как в мире, так и в нашей стране. Запасы природных ресурсов не безграничны, и, несмотря на принимаемые меры в сфере охраны окружающей среды влияние промышленного производства на нее велико. Современная наука на данном этапе не может полностью сделать безопасным процесс получения энергии, но может сделать этот процесс экономичным.

Экономия энергии ведёт к снижению затрат на производство. Поскольку основным потребителем энергии является промышленное оборудование (привод), то введение технических инноваций в его работу, дает экономичность в энергопотреблении.

Электрический привод как самая основная часть промышленного оборудования потребляет более 55% всей вырабатываемой в стране электроэнергии. Совсем недавно перспективным мероприятием по энергосбережению в электроприводе была замена нерегулируемого привода регулируемым. Введение управляемых вентилях – тиристоров, позволило резко повысить технико-экономические показатели электроприводов.

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 Обзор компрессоров

Компрессор – устройство предназначенное для сжатия воздуха и подачи его под давлением. В России применяют компрессор с начала 20 век, а впервые был применён в Европе в середине 19века. Компрессоры классифицируют и разделяют по типам на основе разных параметров: производительности, создаваемому давлению и другим.

По типу компрессоры бывают: воздушные, газовые (циркулярные).

По способу изменения объема камер: поршневые, мембранные и винтовые.

По типу приводного двигателя: дизельные и электрические.

Также они могут быть стационарными и передвижными.

Способ применения: автомобильные, бытовые, промышленные, медицинские.

Рассмотрим две группы компрессоров: поршневые и винтовые.

Поршневой компрессор — это компрессор, у которого происходит нагнетание воздуха в ресивер с помощью поршня в цилиндре совершающего возвратно-поступательное движение. Самый простой поршневой компрессор состоит из цилиндра и поршня, между которыми имеется небольшой зазор. Движение поршня обеспечивается кривошипно-шатунным механизмом от вала с приводным двигателем.

Винтовой компрессор относится к классу роторных компрессоров. Конструкция винтового компрессора была запатентована в 1934 году. В отличие от поршневого, этот вид компрессора не имеет клапанов, что приводит избавляет от механических нагрузок, которые вызывают дисбалансировку винтового компрессора. При этом скорость вращения винтового блока значительно увеличивается. Такая конструкция позволяет получить большую производительность. Т.к. устройство данного компрессора имеет ряд преимуществ перед поршневыми и другими видами компрессоров, это и определило его широкое распространение в настоящее время.

Винтовой компрессор – это сложное техническое устройство. По сравнению с другими видами компрессоров с аналогичными показателями по производительности винтовой компрессор, несмотря на свой самый большой недостаток – значительно большую стоимость, имеет ряд неоспоримых преимуществ.

1.2 Краткая характеристика винтового компрессора

1. Винтовой компрессор – это наиболее современное технологическое решение при выборе источника сжатия воздуха. Винтовой компрессор был создан значительно позже поршневого. В его конструкции используется более совершенное, с точки зрения технологии, устройство – винтовой блок. При производстве винтовых компрессоров, заводы-изготовители используют уже готовые винтовые блоки, которые изготавливают специализированные предприятия, расположенные, в основном, в Европе. Качество производства винтовых блоков настолько велико, что предприятия-изготовители дают гарантию на их безотказную работу, как правило, в течение двух лет.

2. Винтовые компрессоры требуют значительно меньше вложений в монтаж и наладку. Для их работы нет в необходимости в монтировании массивных станин и фундамента. Это вызвано тем, что для данного вида компрессоров характерен низкий уровень шума и вибраций, что позволяет установку компрессора непосредственной близости с рабочими местами, в цехе. Такой децентрализованный подход к установке компрессора (отказ от центральной компрессорной станции) дает возможность избавиться от протяженных пневматических магистралей (уменьшает потери воздуха), исключить «холостую» работу компрессора (он будет работать исключительно в нуждах данного цеха) и даже сэкономить на отоплении производственного помещения.

3. Круглосуточный режим работы винтового компрессора при оптимальной температуре обеспечивают высокие эксплуатационные характеристики и эффективная система масляного охлаждения. Данный компрессор предназначен для интенсивной и продолжительной работы и

может использоваться практически 24 часа в сутки. Ограничение в использовании промышленного поршневого компрессора с ременным приводом – не более 8 часов в сутки, бытового и полупрофессионального поршневого компрессора с прямым приводом – не более 4 часов в сутки.

4. Винтовые компрессоры достаточно надежны. Среднее время наработки на отказ у винтовых компрессоров больше, чем у других видов компрессоров, за счет более совершенной конструкции.

5. Для данного компрессора нет необходимости в установке ресивера большой емкости, так как они не создают большие пульсации давления.

6. Срок эксплуатации винтовых компрессоров гораздо больше остальных. Связано это с тем, что в винтовых компрессорах меньше трущихся деталей и они более совершенны, что позволяет реже производить их замену. Данный компрессор при условии соблюдения всех требований инструкции по эксплуатации и своевременном проведении технического обслуживания может прослужить без ремонта от 15 до 20 лет даже при трехсменном режиме эксплуатации.

7. Винтовые компрессоры более дешевы в эксплуатации. Техническое обслуживание проводится значительно реже (после работы 4000 – 8000 рабочих часов) по сравнению с поршневыми (после работы 400-500 рабочих часов).

8. Винтовые компрессоры устойчивы к перегреву. Поршневые компрессоры чувствительны к высоким температурам, что приводит к залеганию колец и потере производительности.

9. Винтовые компрессоры не требуют наличия высококвалифицированного обслуживающего персонала. Это связано с применением в его конструкции электронной системы управления и изменением различных режимов его работы непосредственно с электронного пульта управления.

10. Винтовой компрессор производит более чистый воздух. Содержание масла, за счет использования более эффективной системы маслоотделения, на выходе из винтового компрессора ниже, чем у других компрессоров.

11. Использование винтового компрессора позволяет экономить электрическую энергию. Так как его КПД составляет до 95% (КПД поршневого компрессора 60-80%). Винтовые компрессоры имеют более совершенную систему регулирования производительности вырабатываемого воздуха (вырабатывают 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. Его «Система плавного пуска» позволяет запускаться двигателю неограниченное количество раз (в сутки) и в эти периоды времени дополнительно сберегается электроэнергия [1].

Современный рынок представлен большим ассортиментом винтовых компрессоров различной модификации и комплектации. Поэтому знаменитые

производители Германии (фирма ALUP), Италии (фирма FINI), Турции (DALGAKIRAN), а также Белоруссии (REMEZA) и России (компания ООО «ТехМаш») представляют отличное качество изготовленной продукции.

Фирма FINI использует в своих компрессорах собственную конструкцию профиля винтовой пары, высокие эксплуатационные характеристики и эффективная система масляного охлаждения которой обеспечивают круглосуточный режим работы винтового компрессора при оптимальной температуре.

Компрессоры FINI – это модульный винтовой компрессор, спроектированный непосредственно для промышленных предприятий, с оптимальным соотношением цены и качества. В конструкции компрессора применяются только европейские узлы и детали, а их удобное расположение обеспечивает легкость и минимизацию временных затрат на обслуживание. Герметичный корпус устройства изготовлен таким образом, чтобы снижать вибрацию, заглушать шум, а также отталкивать грязь. Все модели компрессоров FINI оснащены микропроцессорным блоком управления, обеспечивающим управление и контроль всех компонентов компрессорной станции FINI в автоматическом режиме реального времени с отображением на дисплей параметров его работы, что позволяет снизить энергозатраты и упростить эксплуатацию компрессорной станции.

Внешний вид компрессора FINI представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид компрессорной установки FINI BSC 20

1.2 Устройство и принцип работы винтового компрессора

Устройство винтового компрессора показано на рисунке 2 [2]

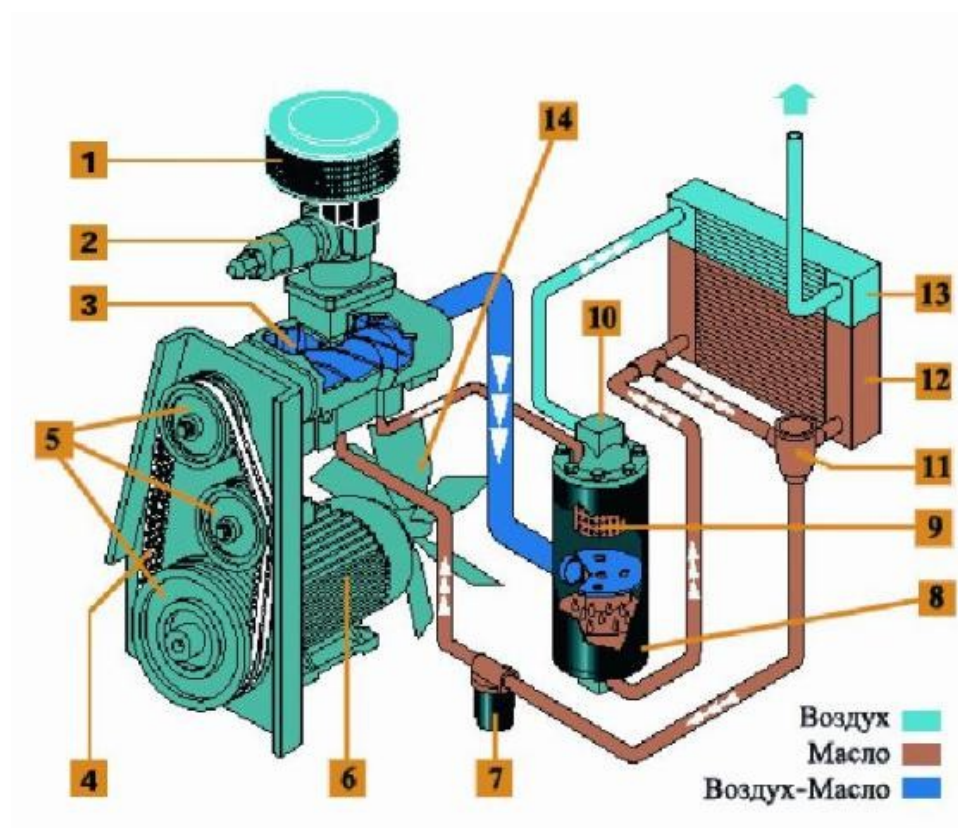


Рисунок 2 - Устройство винтового компрессора

Винтовой компрессор через воздушный фильтр (1) со сменным фильтрующим элементом, всасывает атмосферный воздух. После очищенный воздух проходит через регулятор всасывания (2) и попадает в винтовой блок (3), который является «сердцем» компрессора. Здесь воздух сжимается и перемешивается с маслом, впрыскиваемым в блок в точно дозированных количествах. Образовавшаяся воздушно-масляная смесь нагнетается в сепаратор (8), где при прохождении смеси через картридж (9) происходит разделение масла и воздуха. Очищенный от масла воздух проходит через воздушный радиатор (13) и поступает на выход из компрессора. Масло, отделяемое в сепараторе, возвращается обратно в винтовой блок. В зависимости от температуры масло проходит либо по малому кругу, либо по большому кругу через масляный радиатор (12). Управляет движением масла клапан термостата (11). Перед впрыском в винтовой блок масло предварительно проходит через масляный фильтр (7), где происходит его очистка от твердых частиц. Привод винтовой пары осуществляется электродвигателем (6), посредством клиноременной передачи (4). Передаточное отношение клиноременной передачи, а, следовательно, и скорость вращения винтового блока задается размерами шкивом (5). Вентилятор (14), установленный на валу электродвигателя, обеспечивает движение внутри компрессора охлаждающего воздушного потока, который направляется на воздушно-масляный радиатор для отвода тепла, образующегося при сжатии воздуха. Работу компрессора в режиме холостого хода обеспечивает клапан минимального давления (10). Одновременно он же играет роль обратного клапана, отделяя компрессор от пневматической магистрали при его остановке или работе на холостом ходу.

Винтовой блок - важнейший элемент винтового компрессора, состоящий из двух червячных роторов, находящихся в зацеплении. Один из

роторов – ведущий, другой – ведомый. Винтовой блок компрессора представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 - Винтовой блок компрессора FINI BSC 20

Через систему привода, двигатель вращает винтовую пару. 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, где отсутствует касание винтов, зазор между роторами и корпусом уплотняется, воздух сжимается, при этом масло отводит выделяющееся тепло, а механизмы смазываются. Образовавшаяся 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 и фильтрации) вновь возвращается в винтовой блок.

У винтовых компрессоров нет нагнетательного клапана, поступление воздуха контролируется регулируемыми клапанами. Когда полость между двумя роторами проходит через область всасывания, это пространство увеличивается, при этом поступающий воздух засасывается посредством образовавшегося вакуума между лопастями роторов. Полость наполняется

воздухом, при дальнейшем вращении область всасывания отсекается и полость герметизируется.

После всасывания, пространство между поверхностью винтов роторов, корпусом винтового блока уменьшается и 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 из-за сжатого воздуха внутри него давление быстро поднимается. Так осуществляется процесс сжатия, в ходе которого смазочное вещество впрыскивается в полость сжатия, а затем перемешивается 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 Расчет мощности винтового компрессора

Технические данные компрессора компрессоры фирмы FINI BSC 20 приведены в таблице 1[3].

Таблица 1 - Технические данные компрессора

Модель	Давление, бар	Производи- тельность м ³ /мин	Объем масла, кг	Размер, мм	Уровень шума, ДБ
BSC-20	10	2	8	880x685x810	86

При выборе мощности двигателя для компрессора, как и для любых механизмов с продолжительным режимом работы и постоянной нагрузкой, требуемую мощность $P_{дв}$ двигателя находят по мощности на валу механизма с учётом потерь в промежуточном звене механической передачи.

На основании заданной для компрессора подачи Q и удельной работы сжатия A определяется мощность на валу, в соответствии с которой может быть осуществлен выбор мощности приводного двигателя [4].

Мощность компрессора можно рассчитать по следующей формуле

$$P_{\text{комп}} = k_3 \frac{Q \cdot 10^{-3}}{60 \cdot \eta_k \cdot \eta_n}, \text{кВт} \quad (2.1)$$

где Q – производительность (подача) компрессора, м³/мин;

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

η_n - КПД механической передачи между компрессором и двигателем, его значения лежат в пределах 0,9 – 0,95;

$A = (A_u + A_a)/2$ - работа, Дж/м³, изотермического и адиабатического сжатия 1 м³ атмосферного воздуха с давлением $p_1 = 1,01 \cdot 10^5$ Па до требуемого давления p_2 , Па.

Значения удельной работы A по величине требуемого давления p_2 , развиваемого компрессором, можно выбрать из в таблице 2 [4].

Таблица 2 – Значения удельной работы

$p_2, 10^5 \text{Па}$	3	4	5	6	7	8	9	10
$A, 10^{-3} \text{Дж/м}^3$	132	164	190	213	230	245	260	272

Принимаем следующие значения параметров в выражении (2.1):

$$\eta_k = 0,8; \eta_n = 0,95; k_3 = 1,15;$$

По данным (таб. 2) при требуемом давлении на выходе компрессора $p_2 = 10 \text{бар} = 10 \cdot 10^5 \text{ Па}$ принимаем значение работы - $A = 0,272 \text{ Дж/м}^3$;

по данным таблицы 1 выбираем величину подачи - $Q = 2 \text{ м}^3/\text{мин}$; таким образом, мощность винтового компрессора составит

$$P_{\text{комп}} = k_3 \frac{Q \cdot 10^{-3}}{60 \cdot \eta_k \cdot \eta_n} = 1,15 \frac{2 \cdot 0,272 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 0,8 \cdot 0,95} = 13,72 \text{ кВт}.$$

2.1 Выбор электродвигателя для компрессора и расчет его параметров

Выбираем асинхронный двигатель (АД) SOGA 132me/2, для которого выполняется условия: $P_{\text{об.н}} = 15 \text{ кВт}$ $\diamond_{\text{комп}} = 13,72 \text{ кВт}$.

Технические характеристики электродвигателя SOGA 132me/2 [5]:

- номинальная мощность двигателя $P_{\text{н}} = 15 \text{ кВт}$;
- номинальное фазное напряжение $U_{1\text{н}} = 220 \text{ В}$;
- номинальное скольжение $s_{\text{н}} = 0,023$;
- номинальный КПД $\eta_{\text{н}} = 0,85$;
- номинальный коэффициент нагрузки $\cos \phi_{\text{н}} = 0,87$;
- число пар полюсов $Zp = 1$;
- 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 $k_{\text{макс}} = M_{\text{н}} / M = 2,5$;
- кратность пускового момента $k_{\text{п}} = M_{\text{п}} / M_{\text{н}} = 2,5$;
- кратность минимального момента $k_{\text{мин}} = M_{\text{мин}} / M = 1,6$;
- момент инерции на валу двигателя $J_{\text{дв}} = 0,0075 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

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 Т-образная схема замещения, (рис. 4).

Расчет параметров схемы замещения производим методом, приведенном в [6] с использованием каталожных данных. Погрешность данного метода не превосходит 15%, что вполне допустимо для инженерной практики.

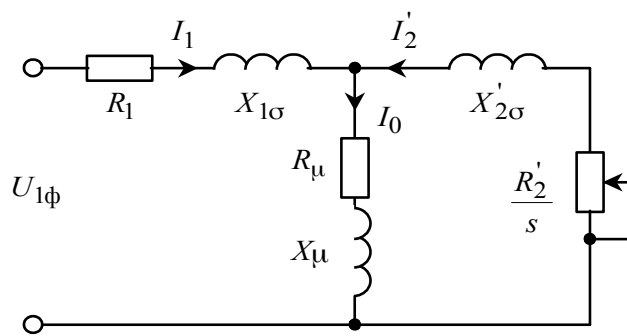


Рисунок 4 – Схема замещения АД

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

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие данной схеме

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

$$\bar{E}_m + j \bar{X}_{2\sigma}' \bar{I}_2' + R_2' \bar{I}_2' / s = 0$$

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

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений изображена на (рис. 5).

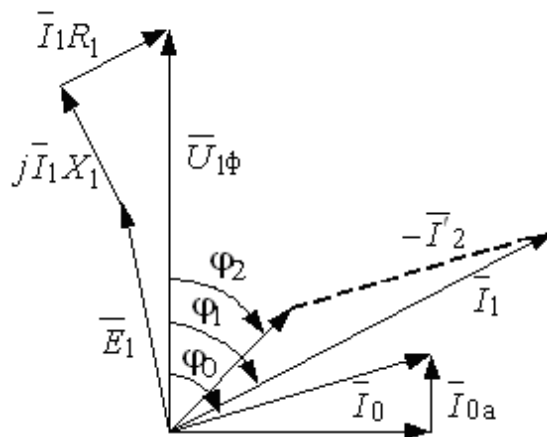


Рисунок 5 – Векторная диаграмма асинхронной машины

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

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

Номинальный ток статора

$$I_{1н} = \frac{P_n}{3 U_{1\phi н} \cos \varphi_n} = \frac{15 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,87} = 30,73 \text{ А}.$$

Синхронная угловая частота вращения электромагнитного поля

$$\omega_{0н} = \frac{\pi}{30} \cdot 1000 = \frac{\pi}{30} \cdot 1000 = 314,16 \text{ рад/с}.$$

Номинальная частота вращения и угловая скорость вращения двигателя

$$n_{дв.н} = (1 - s_n) \cdot 1000 = (1 - 0,023) \cdot 1000 = 2931 \text{ об/мин};$$

$$\omega_{дв.н} = (1 - s_n) \cdot 14,16 = (1 - 0,023) \cdot 14,16 = 306,93 \text{ рад/с}.$$

Номинальный момент на валу двигателя

$$M_{дв.н} = \frac{P_n}{\omega_{дв.н}} = \frac{15 \cdot 10^3}{306,93} = 48,87 \text{ Н}.$$

Ток статора двигателя при частичной нагрузке

$$I_{11} = \frac{P_{*H}}{3 I_{1H} \cos \varphi_{p*} \eta_{p*}} = \frac{0.75 \cdot 50^3}{3 \cdot 20 \cdot 0.85 \cdot 0.85} = 23,59 \text{ А}.$$

где $p_* = \frac{P}{P_H} = 0.75$ - коэффициент загрузки двигателя;

$\cos \varphi_{p*} = 0.98 \cdot 0.87 = 0.85$ - коэф-нт мощности при частичной загрузке;

$\eta_{p*} = \eta = 0.85$ - КПД двигателя при частичной загрузке.

Ток холостого хода двигателя

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

$$= \sqrt{\frac{20,46^2 - 0.75^2 (1 - 0.023) / (1 - 0.75 \cdot 0.023)^2}{1 - 0.75^2 (1 - 0.023) / (1 - 0.75 \cdot 0.023)^2}} = 8,422 \text{ А}.$$

Соотношение для расчета критического скольжения

$$s_k = s_H \frac{k_{\max} + \sqrt{(k_{\max})^2 - 2 k_{\max} \beta k_{*H} - 1}}{1 - 2 k_{*H} \beta k_{\max} - 1} =$$

$$= 0.023 \frac{2.5 + \sqrt{(2.5)^2 - 2 \cdot 0.023 \cdot 0.4 \cdot 2.5 - 1}}{1 - 2 \cdot 0.023 \cdot 0.4 \cdot 2.5 - 1} = 0,123$$

где

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

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 I_i I_{1H}} = 1 + \frac{8,422}{2 \cdot 0,5 \cdot 0,73} = 1,018.$$

Значение коэффициента β , согласно [6], находится в диапазоне $0.6 \div 2.5$, поэтому в первом приближении принимаем $\beta = 1,4$.

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора двигателя

$$R_2' = \frac{1}{(\beta + 1/s_k) \cdot C} \cdot \frac{m \cdot r_{1H}^2 (1 - s_H)}{2k_1 \cdot \sigma_{\max}} = \frac{1}{(1,4 + 1/0.023) \cdot 0.018} \cdot \frac{3 \cdot 20^2 (1 - 0.023)}{2 \cdot 0.018 \cdot 2.2 \cdot 5 \cdot 10^3} = 0,191 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статорной обмотки

$$R_1 = R_2' \cdot \sigma = 1.018 \cdot 0.191 \cdot 4 = 0,272 \text{ Ом.}$$

Параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0.123^2) - 1,4^2} = 11,427.$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$X_{KH} = \gamma \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2' = 11,427 \cdot 0.018 \cdot 0.191 = 2,22 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной

$$X_{2KH}' = 0,58 \cdot X_{KH} / C = 0.58 \cdot 2,22 / 1.018 = 1,264 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки

$$X_{1KH} = 0.42 X_{KH} = 0.42 \cdot 2,22 = 0,932 \text{ Ом.}$$

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

$$s_{kp} = \frac{C_1 \cdot R_2'}{\sqrt{R_{1KH}^2 + X^2}} = \frac{1.018 \cdot 0.191}{\sqrt{0,272^2 + 2,22^2}} = 0,087$$

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

$$E_1 = \sqrt{(U_{1H} \cos \varphi_H - I_{1H} \cdot \sigma_1)^2 + (U_{1H} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} - I_{1H} \cdot X_{1H})^2} = \sqrt{(220 \cdot 0.87 - 30,73 \cdot 0,272)^2 + (220 \sqrt{1 - 0,87^2} - 30,73 \cdot 0,932)^2} = 199,69 \text{ В.}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{199,69}{8,422} = 23,71 \text{ Ом.}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \omega \cdot I_{1H}} = \frac{23,71}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,075 \text{ Гн.}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{1\delta} = \frac{X_{1\delta}}{2 \cdot \omega \cdot I_{1H}} = \frac{0,932}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,002968 \text{ Гн.}$$

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

$$L'_{2\delta} = \frac{X'_{2\delta}}{2 \cdot \omega \cdot I_{1H}} = \frac{1,264}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,004025 \text{ Гн.}$$

Полученные расчётные параметры Т-образной схемы замещения электродвигателя сведены в таблицу 3.

Таблица 3 - Параметры схемы замещения электродвигателя SOGA 132me/2

$R_1, \text{Ом}$	$X_{1\delta}, \text{Ом}$	$L_{1\delta}, \text{Гн}$	$X_{\mu}, \text{Ом}$	$L_{\mu}, \text{Гн}$	$R'_2, \text{Ом}$	$X'_{2\delta}, \text{Ом}$	$L'_{2\delta}, \text{Гн}$	$X_{\text{кн}}, \text{Ом}$
0,272	0,932	0,00296	23,71	0,075	0,191	1,264	0,00402	2,22

Проверим адекватность расчетных параметров двигателя [10].

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя $M^*_{\text{эм.н}}$ и $M^{**}_{\text{эм.н}}$ [5]

$$M_{\text{эм.н}}(s_{\text{н}}) = M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3 \cdot I_{\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0\text{н}} \cdot (X_{\text{фн}}')^2 + (R + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}})^2 + (\frac{R_1 \cdot X_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}})^2} =$$

$$= \frac{3 \cdot 20^2 \cdot 1,191}{314,16 \cdot 0,023 \cdot 62,22^2 + 0,272 + \frac{0,191}{0,023} + \frac{0,272 \cdot 1,191}{0,023 \cdot 23,71}} = 48,947 \text{ Н}.$$

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

$$= \frac{3}{2} \cdot \frac{0,075}{(0,075 + 0,004025)} \cdot 0,899 \cdot \sqrt{30,73^2 - 8,422^2} = 53,502 \text{ Н},$$

где $\Psi_{2\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 = \sqrt{2} \cdot 4,22 \cdot 0,075 = 0,899 \text{ Вб}.$

Должны выполняться два условия [10]

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

$$48,87 < 48,947 \cdot (1,1 \cdot 48,87) = 53,757;$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} \approx M_{\text{эм.н}}^*; \quad 48,947 \approx 53,502.$$

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

2.3 Расчет естественных характеристик электродвигателя

Расчет естественных характеристик проводится для оценки степени совпадения параметров основных характерных точек расчетных естественных характеристик электродвигателя с параметрами двигателя определенными по справочным техническим данным выбранного электродвигателя [5].

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

$$M(s) = \frac{3 U_{1\text{фн}}^2 R_2'}{\omega_{0\text{кн}}^2 X_1^2 + (R + \frac{R_2'}{s})^2 + (\frac{R_1 R_2'}{s X_\mu})^2}$$

Задаемся скольжением в пределах $s = -1, -0.99..1$ и рассчитываем в программе *Mathcad* естественную механическую характеристику $\omega(M)$ (рис. 6), где $\omega = \omega_0 (1 - s)$.

Рассчитываем номинальное значение электромагнитного момента двигателя $M_{\text{эм.н}}$

$$M_{\text{эм.н}}(s_{\text{н}}) = M_{\text{эм.н}} = \frac{3 U_{1\text{фн}}^2 R_2'}{\omega_{0\text{н}}^2 X_{\text{кн}}^2 + (R + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}})^2 + (\frac{R_1 R_2'}{s_{\text{н}} X_\mu})^2} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,191}{314,16 \cdot 0,023 \cdot 2,22^2 + 0,272^2 + \frac{0,191 \cdot 0,272 \cdot 0,191}{0,023 \cdot 23,71}} = 48,947 \text{ Нм};$$

критического скольжения

$$s_{\text{к}} = R_2' \sqrt{\frac{1 + (\frac{R_1}{X_\mu})^2}{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} = 0,191 \sqrt{\frac{1 + (\frac{0,272}{23,71})^2}{0,272^2 + 2,22^2}} = 0,085$$

и электромагнитного критического момента

$$M_{\text{ЭМ.Н}}(s_k) = M_{\text{ЭМ.К}} = \frac{3 I_{\Phi \text{Н}}^2}{\omega_0 R_1 + \sqrt{(R_{\text{ЛКН}}^2 + X^2) + \frac{R_1}{X_\mu}}} =$$

$$= \frac{3 \cdot 20^2}{314,16 \cdot 0,272 + \sqrt{(0,272^2 + 2,22^2) + \frac{0,272}{23,71}}} = 91,662 \text{ Нм.}$$

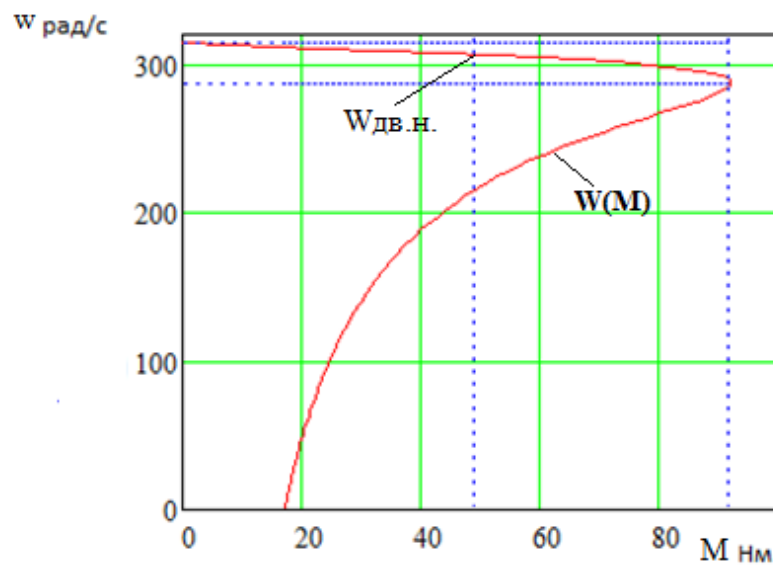


Рисунок 6 – Естественная механическая характеристика

2.3.2 Расчет естественной электромеханической характеристики

Естественная электромеханическая характеристика $I_1(s)$ электродвигателя рассчитывается для значения частоты $f_{\text{и}} = f_{1\text{н}} = 50 \text{ Гц}$ по выражению

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 I_0 I_2'(s) \sin \varphi_2(s)}, \quad (2.1)$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\text{фн}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{\text{кн}})^2 + \left(\frac{R_1 X_2'}{s X_{\mu}}\right)^2}}; \quad (2.2)$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{\text{кн}})^2}}. \quad (2.3)$$

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

$$I_0 = \frac{U_{1\text{фн}}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\delta} + X_{\mu})^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,272^2 + (0,932 + 23,71)^2}} = 8,927 \text{ А},$$

$$\begin{aligned} I_1(s_{\text{н}}) &= \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s_{\text{н}}) + 2 I_0 I_2'(s_{\text{н}}) \sin \varphi_2(s)} = \\ &= \sqrt{8,927^2 + 24,859^2 + 2 \cdot 8,927 \cdot 4,859 \cdot 0,251} = 28,443 \text{ А}, \end{aligned}$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\text{фн}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}}\right)^2 + (X_{\text{кн}})^2 + \left(\frac{R_1 X_2'}{s_{\text{н}} X_{\mu}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{220}{\sqrt{\left(0,272 + \frac{0,191}{0,023}\right)^2 + (2,22)^2 + \left(\frac{0,272 \cdot 0,191}{0,023 \cdot 3,71}\right)^2}} = 24,859 \text{ A};$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{\left(R_{1\text{кн}} + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}}\right)^2 + (X_{\text{кн}})^2}} = \frac{2,22}{\sqrt{\left(0,272 + \frac{0,191}{0,023}\right)^2 + (2,22)^2}} = 0,251;$$

По результатам расчета строим естественные электромеханические характеристики токов статора $I_1 = f(\omega)$ и ротора $I_2' = f(\omega)$, приведенные на рисунке 7.

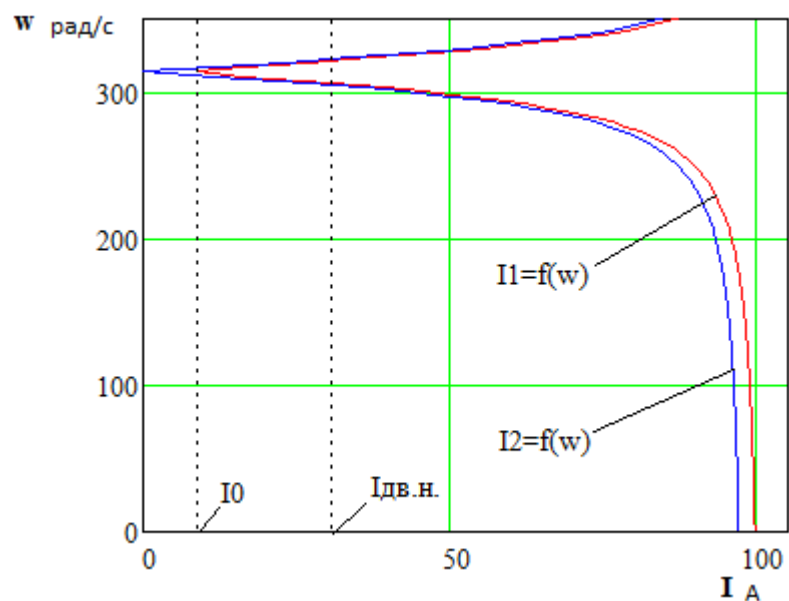


Рисунок 7 – Естественные электромеханические характеристики асинхронного электродвигателя.

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. имеет «вентиляторный» характер [9].

Момент от сил трения на валу ротора можно принять постоянным и равным [7]

$$\Delta M_{с\text{ дв}} = M_{эм\text{ н}} - M_{дв\text{ н}} = 48,947 - 48,87 = 0,077 \text{ Нм.} \quad (2.4)$$

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]

$$\begin{aligned} M_c(\omega) &= \Delta M_{с\text{ дв}} + (M_{с.\text{макс}} - \Delta M_{с\text{ дв}}) \frac{\omega^2}{\omega_{дв.\text{н}}^2} = \\ &= 0,077 + (48,947 - 0,077) \frac{\omega^2}{306,93^2} \end{aligned} \quad (2.5)$$

где $M_{с.\text{макс}} = M_{эм\text{ н}} = 48,947 \text{ Нм}$ - момент нагрузки при скорости вращения;

$\omega_{дв.\text{н}} = 306,93 \text{ рад/с}$, равный номинальному электромагнитному моменту двигателя.

Механические характеристик полного момента сопротивления на валу двигателя, соответствующих механическим характеристикам компрессора, приведены на рисунке 8.

Из анализа приведённых на рисунке 8 характеристик следует, что электродвигатель SOGA 132me/2 обеспечивает требуемое значение максимальной скорости компрессора $\omega_{дв.\text{н}} = 306,93 \text{ рад/с}$, длительную работу при максимальном моменте нагрузки и более чем двукратную перегрузку по моменту.

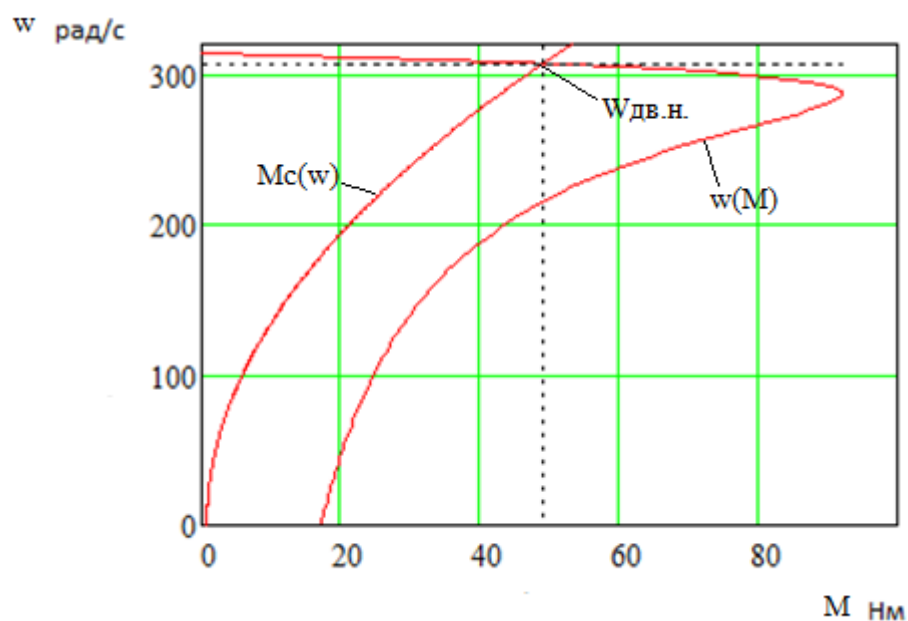


Рисунок 8 – Естественная механическая характеристика двигателя $\omega(M)$ и характеристики полного момента сопротивления на валу двигателя $M_c(\omega)$

3 Обзор систем управления и способов регулирования электропривода

3.1 Системы управления электроприводом

Для повышения общего ресурса, бесперебойной работы компрессора необходимо, обеспечить плавный рост давления внутри компрессора, винтовая пара разгонялась без резких изменений вращающего момента, при этом все нагруженные элементы (ремни, муфты, подшипники) не испытывали высоких нагрузок, необходимо изменение угловой скорости электродвигателя. Поэтому актуально решение задачи выбора системы управления электроприводом (СУЭП) для максимального повышения эффективности работы и производительности технологического оборудования [11].

Исходя из требований к СУЭП, при проектировании предлагаются к рассмотрению две схемы управления: схема векторного регулирования и схема скалярного управления электроприводом компрессорной установки,

выполненные по системе преобразователь частоты - короткозамкнутый асинхронный электродвигатель (ПЧ-АД).

Выбор управления происходит 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 приводом обязательен учет характера нагрузки, создаваемой рабочим механизмом. Частотное управление электродвигателями осуществляется двумя основными способами [10].

Скалярный способ управления является наиболее распространенным в электроприводе. Ему свойственна техническая простота измерения и регулирования абсолютных значений переменных АД. Управление происходит 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 способ управления основан 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, тем самым заметно улучшает 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.

Так как скалярное управление позволяет получить искусственные механические характеристики с требуемой жесткостью, учитывая преимущества этого вида управления, можно сделать вывод, что данный способ управления может быть применён при разработке СУЭП по системе ПЧ-АД винтового компрессора [10].

3.2 Выбор преобразователя частоты

Для управления асинхронного электропривода компрессора будет использован преобразователь серии Micromaster 430 произведённый фирмой Siemens, который разработан специально для типов нагрузки насос, вентилятор [12]

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

$$I_{ин} \leq I_{1н} = 30,73 \text{ А}$$

и рекомендуемой мощности двигателя 15 кВт, выбираем преобразователь частоты модели Micromaster 430, параметры которого приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические параметры преобразователя частоты

Модель	Число фаз	Напряжение питания, В	Частота сети, Гц	Рекомендуемая мощность двигателя, кВт	Номинальный входной ток, А	Степень защиты
Micromaster 430	3	380	50	15	32	IP21

Общие технические данные ПЧ серии Micromaster 430 представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики ПЧ Micromaster 430.

Напряжение питающей сети	3 фазы, 380 В ($\pm 10\%$)
Частота сети, Гц	50
Коэффициент мощности (не менее)	0.98
Максимальная выходная частота, Гц	400
Перегрузка по току (в % от номинального тока в течение 1 мин.)	150%
Способ управления	Вольт-частотный Линейный (U/f) Квадратичный (U/f^2) Прямое управление потоком FCC Режим оптимизации энергопотребления
Диапазон регулирования в разомкнутой системе	1:10
Вид регулятора для управления процессом с замкнутой обратной связью	ПИД
Виды защит	Низкое напряжение, Перенапряжение, Перегрузка по току, Перегрузка по мощности, Короткое замыкание, Перегрев двигателя, Перегрев преобразователя
Дискретные входы (параметрируемые)	6
Фиксированные частоты вращения	8
Релейные выходы	2, параметрируемые 230 В АС / 1.0 А
Аналоговые входы	2 (0 В до 10 В, 2 В до 10 В,

	-10 В до +10 В, 0/4 до 20 мА)
Аналоговые выходы (параметрируемые)	2 (0/4 до 20 мА)
Последовательный интерфейс	RS485
Уровень защиты	IP21
Параметры окружающей среды	
температура окружающей среды	От 0°C до +40°C
температура хранения	От -30°C до +70°C
вес	5,7кг
допустимая относительная влажность (без образования конденсата)	95 %

Внешний вид ПЧ серии Micromaster 430 показан на рисунке 9.



Рисунок 9 – Преобразователи частоты серии Micromaster 430

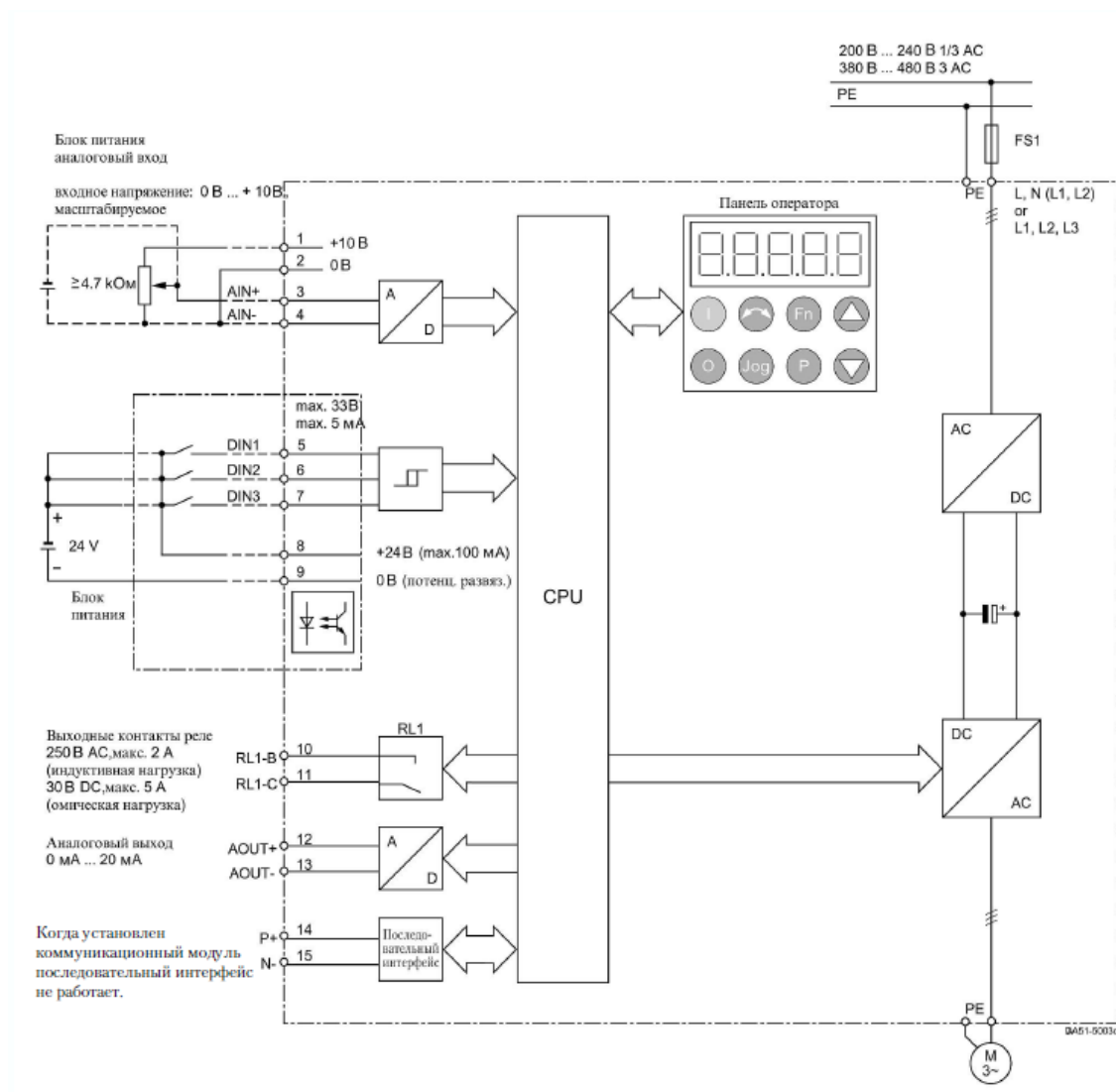


Рисунок 10 – Схема подключения преобразователя частоты Micromaster 430

4 Расчет статических характеристик системы преобразователь – двигатель при частотном регулировании

4.1. преобразователь – двигатель при частотном регулировании

Вольт-частотная характеристика ПЧ 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 11 (характеристика 1).

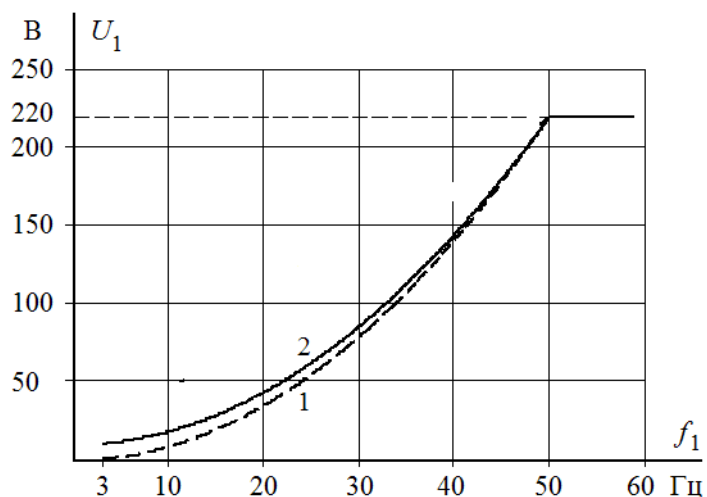


Рисунок 11 - Вольт-частотная характеристика преобразователя:

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

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

Максимальную частоту инвертора, соответствующую номинальному режиму работы насоса определяем из условия обеспечения номинальной рабочей скорости двигателя $\omega_{\text{дв.н}} = 306,93 \text{ рад/с}$. Принимаем максимальное значение частоты инвертора $f_{\text{и макс}} = f_{\text{н}} = 50 \text{ Гц}$. Для обеспечения пусковой характеристики двигателя исходя из требуемого диапазона регулирования скорости, принимаем минимальную частоту инвертора $f_{\text{и мин}} = 5 \text{ Гц}$.

4.2 семейство характеристик

при частотном регулировании

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

$$M(s, f_1) = \frac{3 U_1(f_1)^2}{\omega_{0KH} \frac{f_1}{f_{1H}} + 1 \frac{f_1}{f_{1H}} + \frac{R_2}{s} + \frac{R_1}{s} \frac{f_1}{f_{1H}}} = \frac{3 U_1(f_1)^2}{314,16 \frac{f_1}{50} + 22 \frac{f_1}{50} + 0,272 + \frac{0,191}{s} + \frac{0,272}{s} \frac{f_1}{50}}, \quad (4.2)$$

где

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

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

По результатам расчета на рисунке 12 построено семейство механических характеристик $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при изменении частоты.

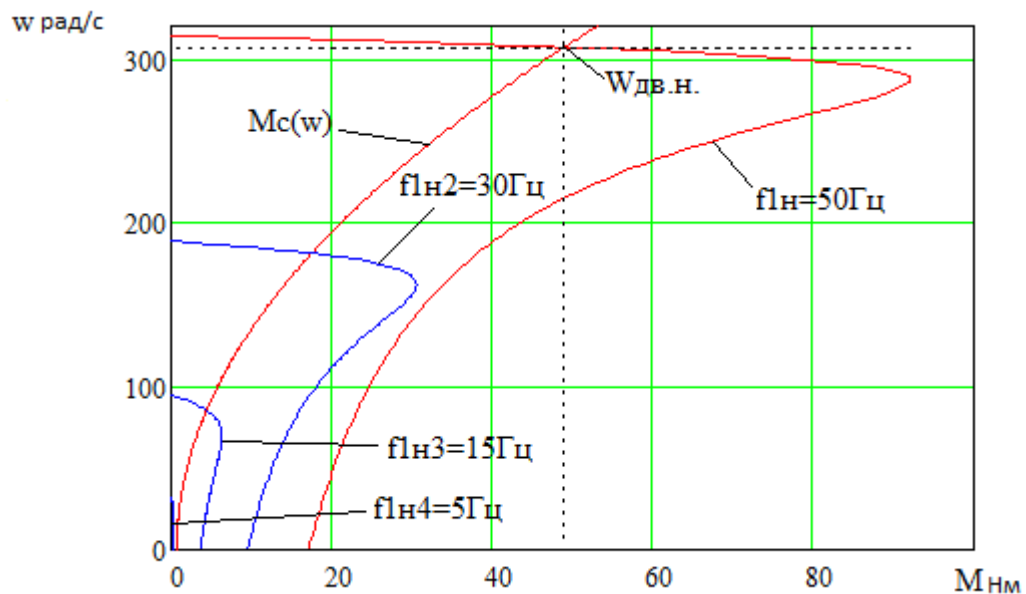


Рисунок 12- Механические характеристики $\omega(M)$ системы

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

$$\Delta M_{\text{с.дв}} = 0,077 \text{ Н} ; M_{\text{с.макс}} = M_{\text{дв.н}} = 48,947 \text{ Н}$$

На рисунке 12 анализ механических характеристик и нагрузки электропривода показывает, что при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ не удастся обеспечить пуск электропривода при выборе начальной частоты инвертора $f_{\text{и.мин}} = 5 \text{ Гц}$.

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

В итоге вольт-частотная характеристика представлена зависимостью

$$U_1(f_1) = U_{1\text{мин}} + (U_{1\text{фн}} - U_{1\text{мин}}) \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2 = 5 + (220 - 5) \left(\frac{f_1}{50} \right)^2 \quad (4.3)$$

и приведена на рисунке 11. (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 13.

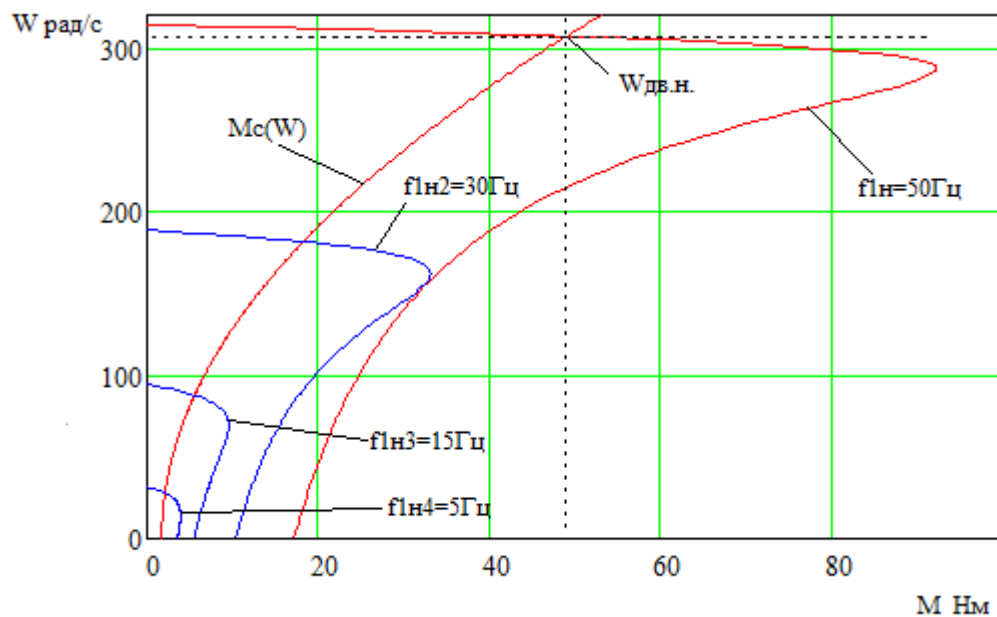


Рисунок 13- Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3)

Анализ характеристик электропривода и нагрузки приведенных на рисунках 12,13 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 компрессора при частоте инвертора $f_{1н4}=5$ Гц.

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:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2^2(s, f_1) + 2 \Phi_0(f_1) \Phi_2(s, f_1) \sin \phi_2(s, f_1)}; \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned}
I_0(f_1) &= \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \frac{f_1^2}{f_{1H}^2}}} = \\
&= \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{0,083^2 + (0,194 + 7,6)^2 \frac{f_1^2}{f_{1H}^2}}};
\end{aligned} \tag{4.5}$$

$$\begin{aligned}
I_2'(s, f_1) &= \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_{1KH}^2 \frac{R_2'^2}{s^2} + X_{1H}^2 \frac{f_1^2}{f_{1H}^2} + R_1^2 \frac{R_2'^2}{f_{1H}^2} + X_\mu^2 \frac{f_1^2}{f_{1H}^2}}} = \\
&= \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{2,272 + \frac{0,191}{s} + 2,22 \frac{f_1^2}{f_{1H}^2} + 0,272 + \frac{0,191}{3,71} \frac{f_1^2}{f_{1H}^2}}};
\end{aligned} \tag{4.6}$$

$$\begin{aligned}
\sin \varphi_2(s, f_1) &= \frac{X_{KH} \frac{f_1}{f_{1H}}}{\sqrt{R_{1KH}^2 \frac{R_2'^2}{s^2} + X_{1H}^2 \frac{f_1^2}{f_{1H}^2}}} = \\
&= \frac{2,22 \frac{f_1}{f_{1H}}}{\sqrt{2,272 + \frac{0,191}{s} + 2,22 \frac{f_1^2}{f_{1H}^2}}},
\end{aligned} \tag{4.7}$$

где

$$U_1(f_1) = U_{1\text{мин}} + (U_{1\text{фн}} - U_{1\text{мин}}) \frac{f_1}{f_{1H}} = 5 + (220 - 5) \frac{f_1}{50},$$

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

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

На рисунке 13 приведена характеристика полного момента нагрузки $M_c(\omega)$, а на рисунке 14 соответствующая ей зависимость статического тока нагрузки $I_{1c}(\omega)$, рассчитанная по выражениям (4.4) – (4.7) в интервале частот $f_1 = f_{1н1} \dots f_{1н4}$ для значений скольжения s , найденных путем совместного численного решения уравнений для механических характеристик двигателя и нагрузки.

Анализ характеристик электропривода и нагрузки приведенных на рисунках 13, 14 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 $f_{и.мин} = 5$ Гц и не менее чем двукратную максимальную перегрузку во всём диапазоне регулирования скорости.

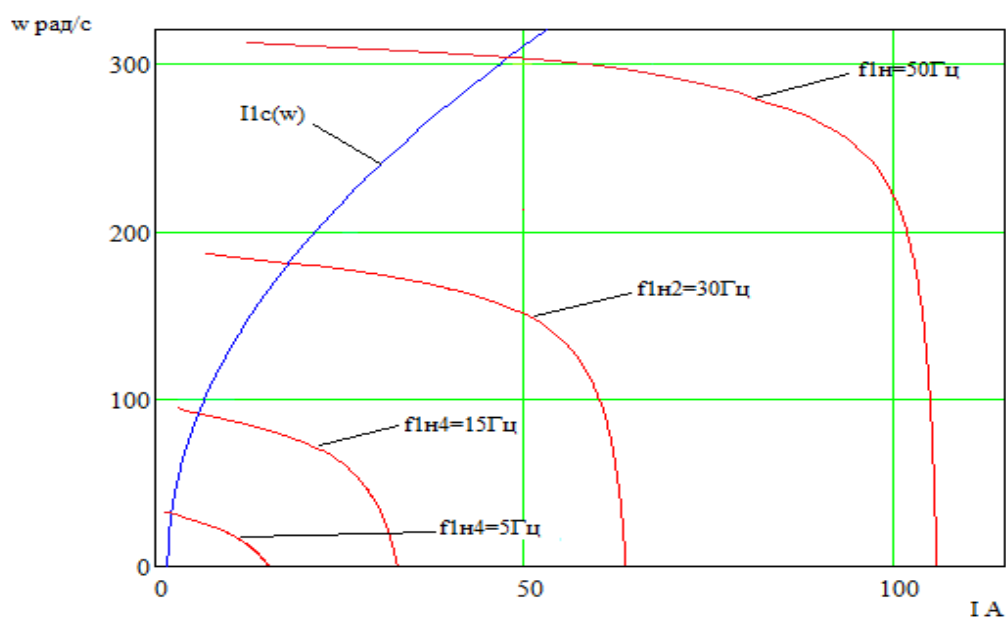


Рисунок 14 - Электромеханические характеристики электропривода $\omega(I_1)$ при скалярном управлении после настройки вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3)

5 Частотно-регулируемый асинхронный электропривод со скалярным управлением

5.1 Проверка адекватности имитационной модели асинхронного двигателя в программной среде Matlab

Для исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода необходимо разработать имитационную модель в Matlab.

Для имитационного моделирования асинхронного электропривода обычно применяют модели электродвигателя, составленные на базе обобщенной электрической машины и выполненные в неподвижной или вращающейся двухфазной системе координат. Математическое описание асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат α, β , ориентированной по вектору потокосцепления ротора представлена следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} U_{1\alpha} &= R_1 i_{1\alpha} + \frac{d\psi_{1\alpha}}{dt} - \frac{R_2'}{L_2'} \psi_{2\alpha} - \frac{L_{\mu}}{L_2'} p \psi_{2\beta}; \\ U_{1\beta} &= R_1 i_{1\beta} + \frac{d\psi_{1\beta}}{dt} - \frac{R_2'}{L_2'} \psi_{2\beta} - \frac{L_{\mu}}{L_2'} p \psi_{2\alpha}; \\ \psi_{2\alpha} &= (T_2 p + 1) \psi_{2\alpha} - L_{\mu} i_{1\alpha} + \frac{L_2'}{R_2'} p \psi_{2\beta}; \\ \psi_{2\beta} &= (T_2 p + 1) \psi_{2\beta} - L_{\mu} i_{1\beta} + \frac{L_2'}{R_2'} p \psi_{2\alpha}; \\ M_{\text{дв.эм}} &= \frac{3}{2} \frac{L_{\mu}}{L_2'} p (\psi_{2\alpha} i_{1\beta} - \psi_{2\beta} i_{1\alpha}); \\ \omega &= \frac{1}{Jp} (M_{\text{дв.эм}} - M_c \operatorname{sign}(\omega)) \end{aligned}$$

В библиотеке SimPowerSystem пакета Simulink системы MatLab имеется готовая модель АД. На базе этой модели собрана имитационная модель прямого пуска АД, которая приведена на рисунке 15. Результаты имитационного моделирования пуска АД и наброса нагрузки приведены на рисунке 16.

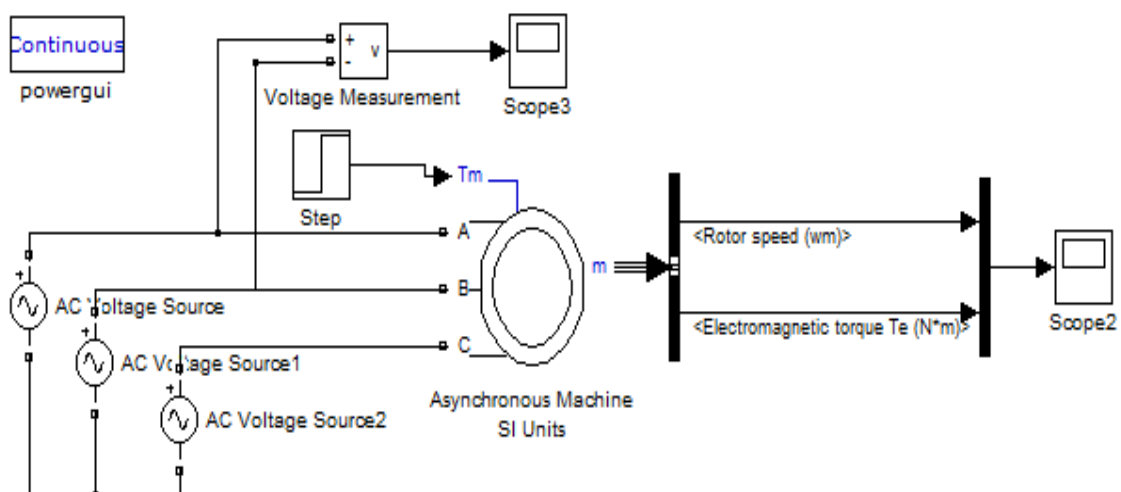


Рисунок 15 - Имитационная модель прямого пуска асинхронного двигателя

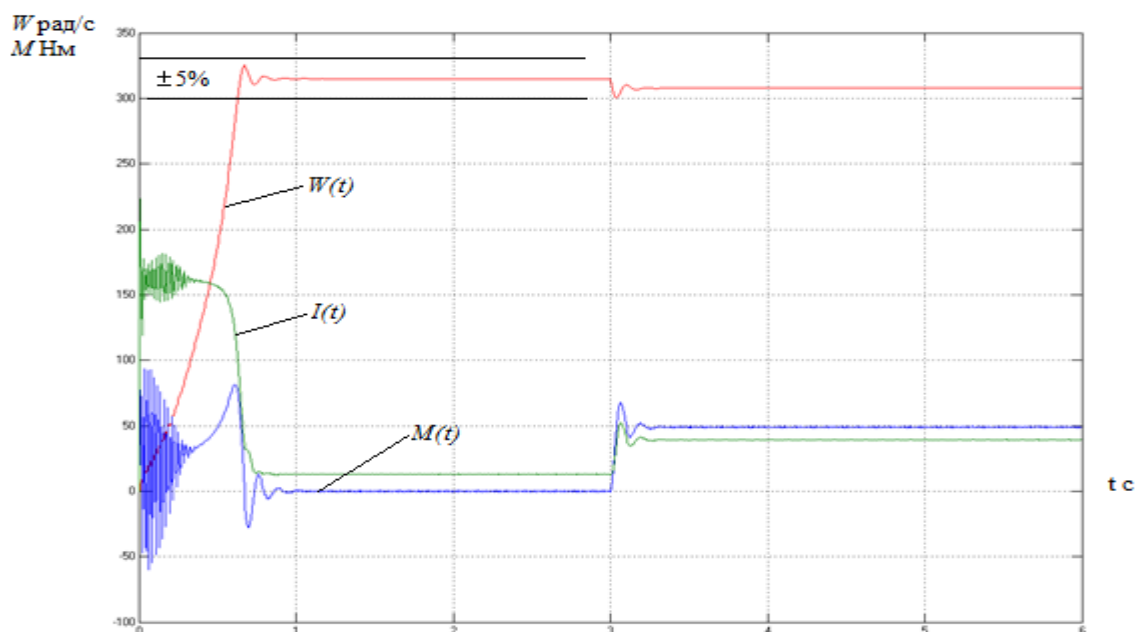


Рисунок 16 - Переходные характеристики скорости ротора, тока и электромагнитного момента АД при прямом пуске, набросе нагрузки

Сравнивая значения скорости, тока и электромагнитного момента переходных процессов двигателя под нагрузкой (рисунок 19) со значениями скорости ($\omega_{\text{дв.н}} = 306,93 \text{ рад/с}$), тока ($I_{\text{н}} = 30,73 \text{ А}$) и электромагнитного момента ($M_{\text{дв.н}} = 48,87 \text{ Н} \cdot \text{м}$) полученные при расчёте в программной среде Matcad, можно сказать об адекватности модели асинхронного двигателя.

5.2. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода компрессора со скалярным управлением

1. пуск системы преобразователь – двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}, f=5 \text{ Гц}$

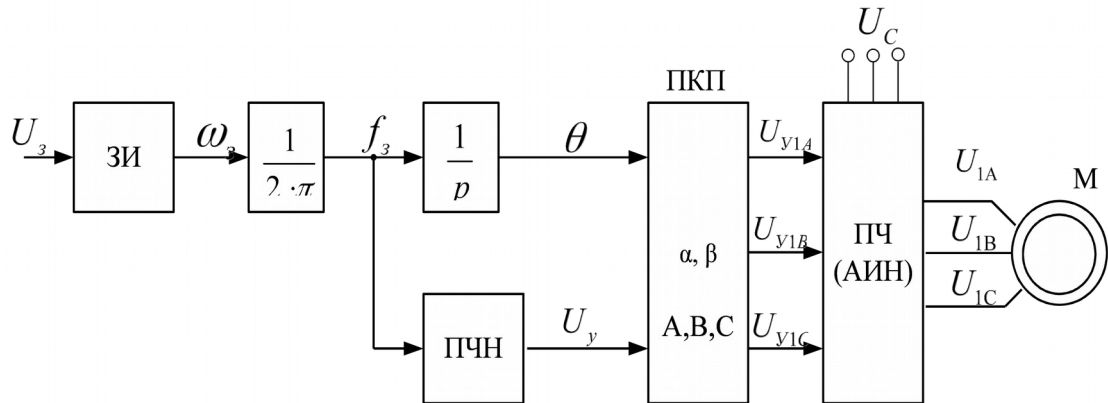


Рисунок 17 - Функциональная схема системы скалярного частотного управления

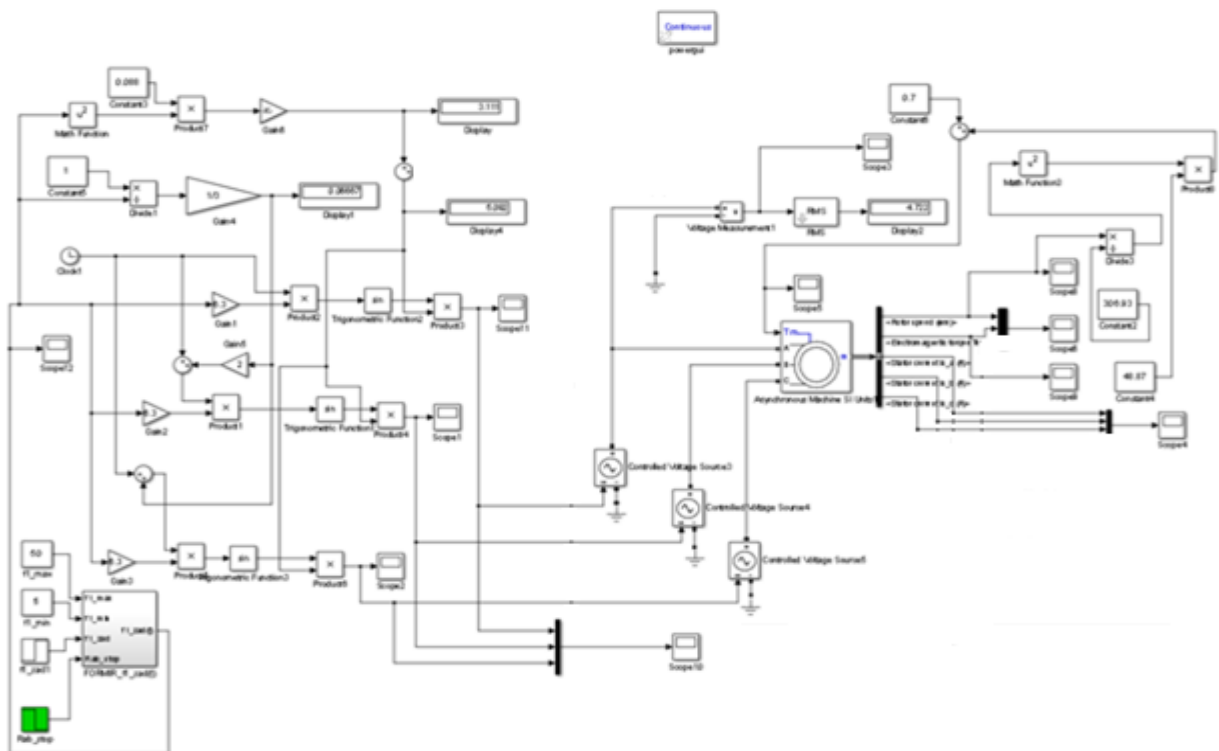


Рисунок 18- Имитационная модель разомкнутой системы ПЧ-АД со скалярным управлением $U_1/f_1^2 = \text{const}$

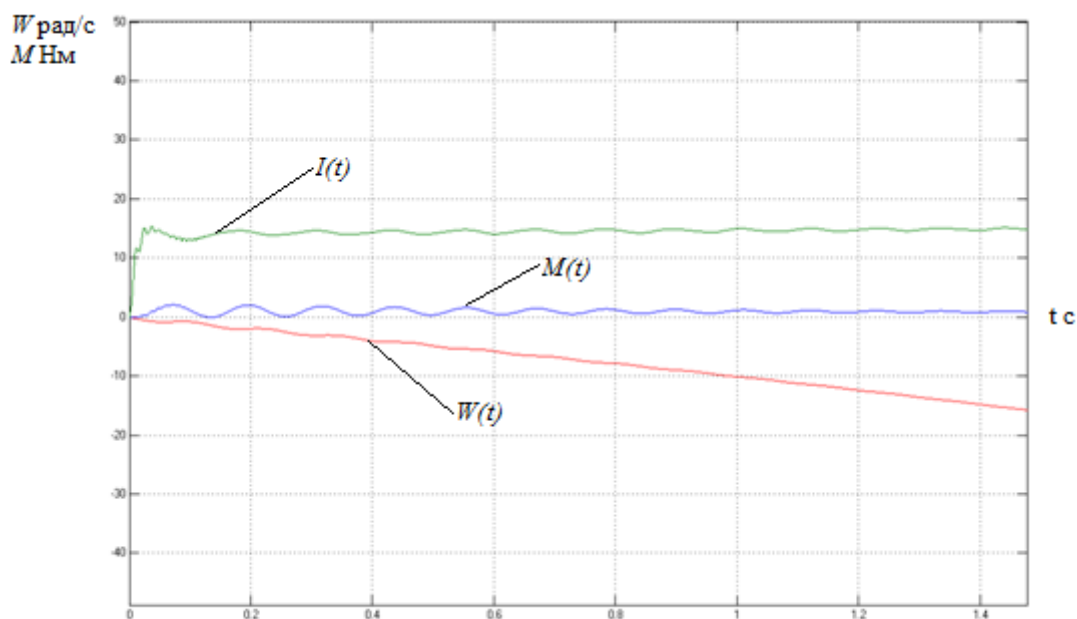


Рисунок 19 - переходные характеристики скорости, тока и электромагнитного момента системы преобразователь – двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$, $f=5$ Гц.

На рисунке 19 анализ переходных характеристик скорости, тока и электромагнитного момента электропривода показывает, что при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ не удастся обеспечить пуск электропривода при выборе начальной частоты инвертора $f_{\text{и.мин}} = 5$ Гц .

2. 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 IR компенсация (повышение начального значения напряжения) в области малых частот выходного напряжения инвертора.

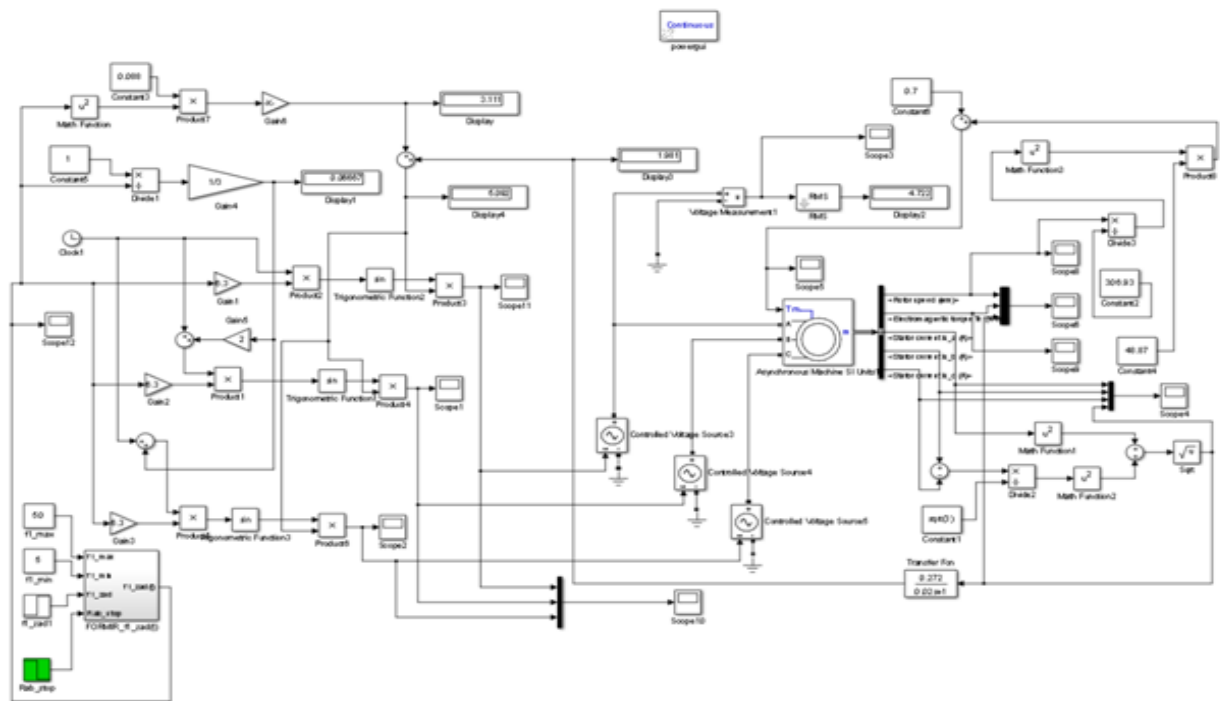


Рисунок 20- Имитационная модель системы ПЧ-АД со скалярным управлением $U_1/f_1^2 = \text{const}$ с IR-компенсацией

К электроприводу компрессора не предъявляется жестких требований к динамическим показателям. Поэтому при выборе параметров настройки задатчика интенсивности скорости, прежде всего, следует исходить из условия обеспечения мягкого пуска электропривода. В ходе имитационных экспериментов установлено, что для обеспечения мягкого пуска компрессора достаточно принять постоянную времени задатчика $T_{зи} = 1 \text{ с}$.

На рисунке 20 приведён пуск системы преобразователь – двигатель при настройке IR-компенсации в соответствии с (4.3), на частоте $f=5 \text{ Гц}$.

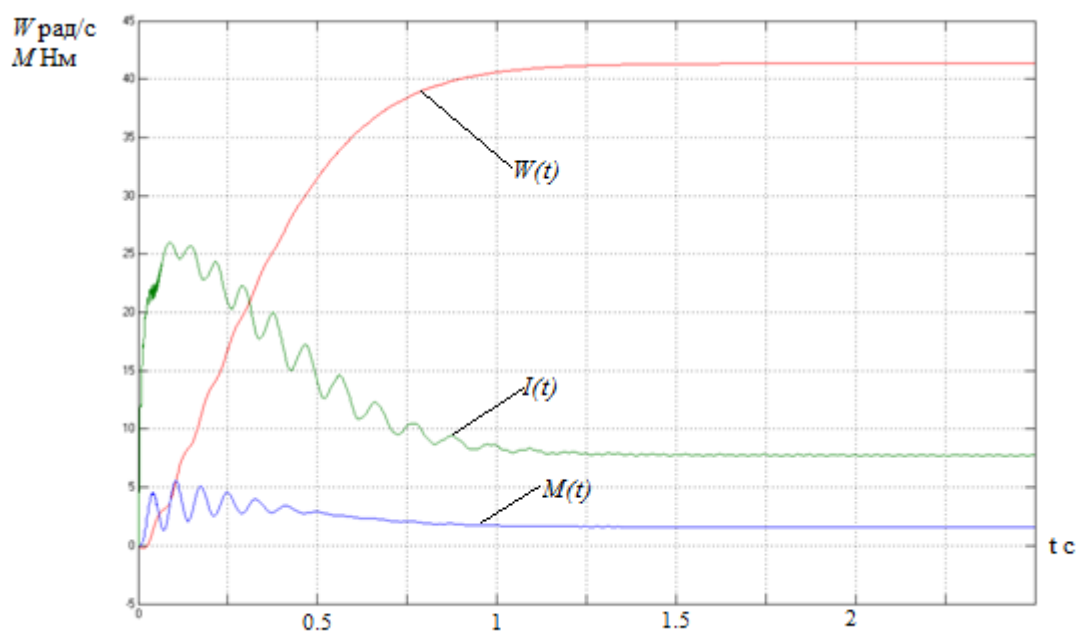


Рисунок 20 - переходные характеристики скорости, тока и электромагнитного момента системы преобразователь – двигатель при настройке IR-компенсации в соответствии с (4.3), $f=5$ Гц.

Пуск системы преобразователь – двигатель при настройке IR-компенсации в соответствии с (4.3), $f=50$ Гц.

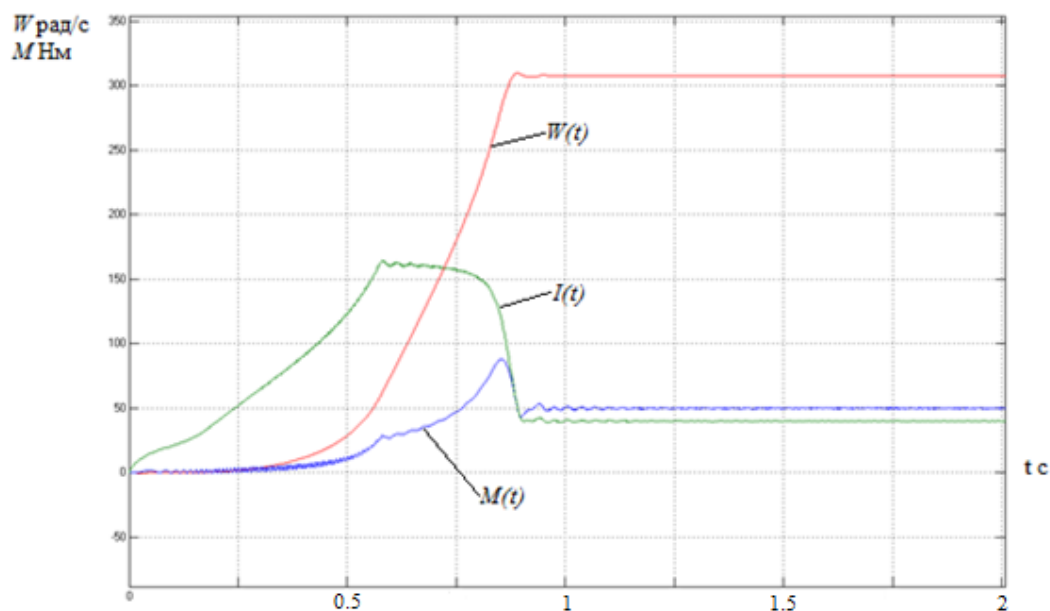


Рисунок 21 - переходные характеристики скорости, тока и электромагнитного момента системы преобразователь – двигатель при настройке IR-компенсации в соответствии с (4.3), $f=50$ Гц.

Путем имитационного моделирования исследованы режимы работы пуска на минимальную и максимальную скорость, на которых видно плавность переходных процессов и стабильная работа привода.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Мозговой Сергей Александрович

Институт	Институт электронного обучения (ИнЭО)	Кафедра	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- Заказчиком проекта является ООО «Промполиме»; - Примерный бюджет проекта 800 тыс. руб.; - В реализации проекта задействованы 3 человека: научный руководитель, инженер 13 категории, инженер 10 категории.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- Отчисления по страховым взносам - 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование, - Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
2. <i>Планирование и формирование бюджета проектной работы</i>	- Планирование выполнения проекта, - Расчет бюджета затрат на проектирование, в том числе расчет капитальных вложений в основные средства
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Карта сегментирования рынка
2. Календарный план –график проведения НИОКР
3. График проведения ПНР

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко Аркадий Альбертович	Кандидат технических наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Мозговой Сергей Александрович		

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время формирование рыночных отношений в нашем государстве на всех уровнях очень является актуальным моментом. Вложение денег должно быть как можно минимальным, а отдача как можно максимальной. Прикладная наука заинтересована в разработках идей, способных удешевить экономию как природные ресурсы, так и финансовую составляющую любого технического базиса производства. Поэтому перед непосредственным внедрением в производство каких-либо инноваций, необходимо его экономическое обоснование. Целью дипломного проекта является расчет технического уровня по установке частотного преобразователя к улучшению работы компрессора с асинхронным двигателем, как наиболее экономически выгодное.

В данной части проекта выполняется определение этапов работы, составление план-графика, сметы затрат.

Смета – это документ, определяющий окончательную и предельную стоимость реализации проекта, служит исходным документом капитального вложения, в котором определяются затраты, необходимые для выполнения полного объема необходимых работ.

План–график составляется для того, чтобы выполнить научно-исследовательскую работу в срок с наименьшими затратами средств. В нем содержится информация о поэтапной трудоемкости работ.

Для технико-экономического обоснования проекта необходимо провести следующую работу:

- 1) оценить технический уровень частотного преобразователя;
- 2) распланировать проектные работы;
- 3) выполнить расчёты затрат на проектирование
и договорную цену.

Расчет производим по ценам 2016 года.

Исходные данные и стоимости сведены в таблицы.

6.1 Оценка научно-технического уровня частотного преобразователя

Применение асинхронных электродвигателей на производстве в отличие от двигателей постоянного тока известна, т.к. стоимость электродвигателей последних высока. Асинхронные электродвигатели просты в обслуживании, всегда есть в наличии, что позволяет производить замену в кратчайшие сроки. При этом асинхронные электродвигатели более надежны, чем электродвигатели постоянного тока за счет отсутствия щеточного узла.

Для достижения научно-технического эффекта необходимо внедрение новой техники с повышенной производительностью, точностью измерений, надежностью, с более высоким КПД и т.п. Улучшим работу асинхронного электродвигателя при помощи дополнительного оборудования – частотного преобразователя. Это позволит модернизировать производство, повысить надежность, продлить срок службы оборудования, снизить энергопотребление.

Для оценки научно-технического эффекта можно использовать количественный и качественный анализ. Количественный анализ производится расчетом и сравнением количественных результатов научной деятельности и технических параметров разрабатываемой техники, приборов, методов. Качественный анализ состоит в сопоставлении преимуществ и недостатков инженерных решений на основе экспертных оценок «хуже-лучше», «больше-меньше», «выше-ниже» и т.п. Оценка дается в баллах, например, по шкале от 1 до 10 или 100 баллов.

Оценка научно-технического уровня рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{нту}} = K_{\text{ту}} \cdot K_{\text{ну}},$$

где $K_{\text{ту}}$ – коэффициент технического уровня энергетического объекта;

$K_{\text{ну}}$ – коэффициент результативности НИР.

Вычислить единичный параметрический показатель можно по формуле:

$$q = \frac{P}{P_{100}} \diamond,$$

где q – параметрический показатель;

P – величина параметра реального объекта;

P_{100} – величина параметра гипотетического (идеального) объекта, удовлетворяющего потребность на 100%;

p – вероятность достижения величины параметра; вводится для получения более точного результата с учетом элемента случайности, что позволяет снизить риск осуществления проекта.

Каждому параметрическому показателю по отношению к объекту в целом (т.е. обобщенному удовлетворению потребности) соответствует некий вес d , разный для каждого показателя. После вычисления всех единичных показателей становится реальностью вычисление обобщенного (группового показателя), характеризующего соответствие объекта потребности в нем (полезный эффект или качество объекта):

$$Q = \diamond_{i=1}^n q_i d_i,$$

где Q – групповой технический показатель (по техническим параметрам);

q_i – единичный параметрический показатель по i -му параметру;

d_i – вес i -го параметра;

n – число параметров, подлежащих рассмотрению.

Показатель конкурентоспособности новшества по отношению к базовому объекту будет равен

$$K_{\text{ту}} = \frac{Q_{\text{н}}}{Q_{\text{к}}},$$

где $K_{\text{ту}}$ – показатель конкурентоспособности нового объекта по отношению к конкурирующему по техническим параметрам (показатель технического уровня);

Q_n, Q_k – соответствующие групповые технические показатели нового и базового объекта.

Произведем расчёт значений q_i, Q_n, Q_k, K :

Данные для оценки конкурентоспособности разрабатываемого новшества приводятся в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 - Оценка технического уровня новшества

Характеристики	Вес показателей	Новшество		Конкурент		Гипотетический (идеального) объект	
		P_i	q_i	P_i	q_i	P_{100}	q_{100}
Полезный эффект новшества (интегральный показатель качества), Q	1	$Q_n=$		$Q_k=$		$Q_{100}=1$	
Энергосбережение, $кВт$	0,30	13,9	0,86	15	0,69	13,3	1
Вероятность безотказной работы	0,25	0,996	0,997	0,937	0,937	0,999	1
Экономичность подачи воздуха, $м^3/мин$	0,2	0,6	0,83	0,78	0,64	0,5	1
Срок службы, лет	0,15	7	0,7	5	0,5	10	1
Удобство эксплуатации	0,1	8	0,8	4	0,4	10	1

6.2 Планирование проектных работ

Любая НИР состоит из перечня работ, необходимых для достижения поставленной задачи, определении участников каждой работы, установлении продолжительности работ в рабочих днях, построении линейного или сетевого графика и его оптимизации.

В таблице 6.2 приведены состав и структура длительности основных этапов НИОКР.

Таблица 6.2 - Состав и структура основных этапов НИОКР

№ этапов	Наименование этапов	Продолжительность этапов в %
А. Научно-теоретические исследования		
1.	Получение технического задания на разработку проекта	10
2.	Командировка на завод для сбора информации	1
3.	Подбор кадров	2
4.	Определение объёма работ	15

таблицы 6.2 продолжение

5.	Изучение научно-технической литературы, относящейся к теме	30
6.	Сбор исходных данных	10
7.	Анализ полученной информации	10
8.	Технико-экономическое обоснование выбора оборудования	5
9.	Разработка раздела БЖД	3
10.	Выводы и предложения по теме	3
11.	Оформление отчета	10
	Всего	100
Б. Опытно-конструкторские работы		
1.	Выбор ПЧ	5
2.	Расчет параметров ПЧ	19
3.	Выполнение графической части	10
4.	Проверка выполненных расчетов	17
5.	Анализ полученных результатов	16
6.	Заводские испытания	15
7.	Доработка и опытного образца по результатам заводских испытаний	7
8.	Итоги	10
	Всего	100

В проектировании принимали участие три инженерных работника: научный руководитель и два инженера. Распределение работы между работниками, участвующими в проектировании сводим в таблицу 6.2.1.

Таблица 6.2.1 - Состав информации для построения календарного графика

Перечень работ	Трудо-емкость работ, чел.-час.	Количество исполнителей	Длительность выполнения работ, чел.-час.	Длительность выполнения всех видов работ по проектам, чел.-дней
----------------	--------------------------------	-------------------------	--	---

1	2	3	4	5
Получение технического задания на разработку проекта	56	научный руководитель инженер 10 разряда	28	7
Определение объёма работ	40	научный руководитель инженер 10 разряда	20	5
Командировка на завод	8	инженер 10 разряда	8	1
Подбор кадров	16	инженер 13 разряда инженер 10 разряда	8	2
Изучение научно- технической литературы, относящейся к теме	80	инженер 10 разряда	80	10
Сбор исходных данных	40	инженер 10 разряда	40	5
Анализ полученной информации	40	научный руководитель инженер 10 разряда	20	5
Технико- экономическое обоснование выбора оборудования	40	инженер 10 разряда	40	5
Разработка раздела БЖД	24	инженер 10 разряда	24	3
Выводы и предложения по теме	24	инженер 10 разряда	24	3
Оформление отчета	80	инженер 13 разряда инженер 10 разряда	40	10

таблицы 6.2.1 продолжение

Выбор ПЧ	24	инженер 13 разряда инженер 10 разряда	12	3
Расчет параметров	40	инженер 13 разряда	20	5

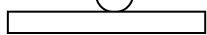
ПЧ		инженер 10 разряда		
Выполнение графической части	40	инженер 13 разряда инженер 10 разряда	20	5
Проверка выполненных расчетов	48	научный руководитель инженер 13 разряда инженер 10 разряда	16	6
Анализ полученных результатов	40	научный руководитель инженер 13 разряда инженер 10 разряда	13	5
Заводские испытания	64	инженер 13 разряда инженер 10 разряда	32	8
Доработка опытного образца по результатам заводских испытаний	56	инженер 13 разряда инженер 10 разряда	28	7
Итоги	40	научный руководитель инженер 10 разряда	20	5
Итого				100 дней

Календарное планирование

Календарное планирование обычно осуществляется с помощью построения планов-графиков проведения работ по проекту. Используем ленточный график Гантта. В нем обозначим весь производственный процесс на отдельные операции, изображаемые в виде полос в масштабе времени построчно, причем начало последующей операции совпадает с окончанием предыдущей (рисунок 30). Последовательный набор всех работ по горизонтали позволяет определить продолжительность всего комплекса работ, а подсчет по вертикали – количество ежедневно занятых на работах персонала, техники, материальных ресурсов и т.д.

Каждая фигура соответствует следующим условным обозначениям:

	- научный руководитель
---	------------------------

	- инженер 13 категории
	- инженер 10 категории
	- продолжительность рабочих дней

Необходимую информацию для построения графика берем из таблицы 6.2.1.

Наименование работ	Продолжительность работ, календарное время, дней																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Работа № 1																														
Работа № 2																														
Работа № 3																														
Работа № 4																														
Работа № 5																														
Работа № 6																														
	Продолжительность работ, календарное время, дней																													
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	
Работа № 7																														
Работа № 8																														
Работа № 9																														
Работа № 10																														
Работа № 11																														
Работа № 12																														

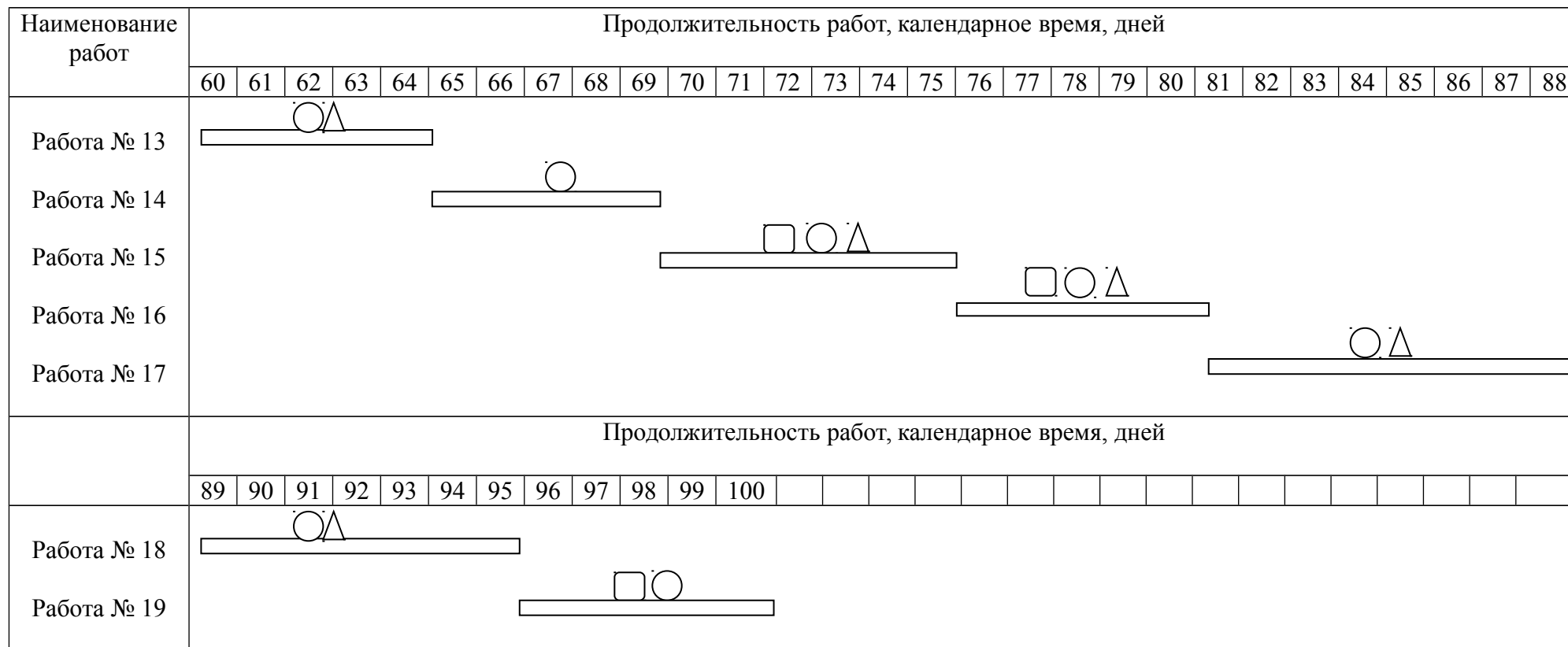


Рисунок 22 - Линейный график занятости при выполнении проекта

6.3 Расчет затрат и договорной цены на проектирование и проведение НИОКР

Затраты на проектирование и НИОКР подразделяются на капитальные (единовременные) и текущие. Капитальные затраты на НИР включают: стоимость лабораторного оборудования, приборов, стоимость зданий и сооружений, необходимых для проведения исследований и проектных работ.

Состав текущих затрат: заработная плата, начисление на заработную плату, командировочные расходы, затраты на проведение испытаний экспериментальных образцов, на заводские испытания, затраты на проектирование и конструирование изделий, на разработку технологии, на изготовление и испытания опытных образцов.

Определение затрат по запланированным работам осуществляется в форме сметной калькуляции, для расчета которой использованы действующие рыночные цены, а также данные производственных и научно-исследовательских подразделений (процент косвенных расходов, процент транспортно-заготовительных расходов, ставки заработной платы, номенклатура статей калькуляции).

Обычно затраты на любой вид деятельности рассчитываются по следующим элементам расходов с последующим суммированием:

1. Материальные затраты.
2. Затраты на оплату труда.
3. Отчисления на социальные нужды (страховые взносы).
4. Амортизация основных фондов и нематериальных активов.
5. Прочие затраты.
6. Накладные расходы.

Составляем смету затрат на проект, которая включает в себя перечисленные элементы затрат.

6.3.1. Смета затраты на материалы

В элементе «Материальные затраты» отражается стоимость приобретённых канцелярских товаров:

- бумага – 250руб (500 листов);
- картридж для принтера – 2320 руб.

$$И_{\text{мат}} = 250 + 2320 = 2570 \text{ руб.}$$

6.3.2. Расчет затрат на заработную плату

Заработная плата рассчитывается по тарифной системе. Тарифный фонд для бюджетных работ рассчитывается по единой тарифной сетке. Она предусматривает 18 разрядов. Данные представлены в таблице 10.

Таблица 6.3 - Тарифные коэффициенты Единой тарифной сетки по оплате труда работников организаций бюджетной сферы

Разряды оплаты труда	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Тарифные коэффициенты	1.00	1.11	1.23	1.36	1.51	1.67	1.84	2.02	2.22	2.44	2.68	2.89	3.12	3.36	3.62	3.9	4.2	4.5

Тарифная сетка применяется для установления оплаты труда в зависимости от квалификации рабочего определяемой присвоенным ему разрядом. Каждому разряду соответствует определенный тарифный коэффициент.

В состав затрат на оплату труда включается:

- выплата заработной платы за фактически выполненную работу, исходя из сдельных расценок, тарифных ставок и должностных окладов;
- выплаты стимулирующего характера по системам положения;
- выплаты, обусловленные районным регулированием оплаты труда (выплаты по районным коэффициентам);

- оплата в соответствии с действующим законодательством очередных ежегодных и дополнительных отпусков;
- другие виды выплат за исключением расходов по оплате труда, финансируемых за счет прибыли предприятия.

Минимальный размер заработной платы составляет - $ЗП_{\min} = 5554$ руб.

Тарифный коэффициент зависит от разряда исполнителей (таблица 11)

Расчет издержек на заработную плату.

Таблица 6.3.1 - Единая тарифная сетка с учетом занимаемой должности

Должность	Тарифный коэффициент	Разряд	Минимальный оклад по 1-му разряду	Тариф
Научный руководитель	3,62	15	5554 руб./мес.	20105,48 руб./мес.
Инженер	3,12	13	5554 руб./мес.	17328,48 руб./мес.
Инженер	2,44	10	5554 руб./мес.	13551,76 руб./мес.

Время работы исполнителей в соответствии с плановым графиком:

научный руководитель - 33 дня

инженер 13 разряда - 51 день

инженер 10 разряда - 90 дней

Дополнительная заработная плата за неотработанное время (отпуск): $ЗП_{\text{д}} = ЗП_{\text{тар}} * (0,08-0,16)$.

$$ЗП_{\text{доп}15} = 20105,48 * 0,1 = 2010,55 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{\text{доп}13} = 17328,48 * 0,08 = 1386,28 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{\text{доп}10} = 13551,76 * 0,08 = 1084,14 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{\text{доп}} = 2010,55 + 1386,28 + 1084,14 = 4480,97 \text{ руб.}$$

ЗП исполнителей за условия проживания: $ЗП_{\text{пояс}} = 0,3 * (ЗП_{\text{тар}} + ЗП_{\text{доп}})$.

$$ЗП_{\text{поясн}15} = 0,3 * (20105,48 + 2010,55) = 6634,81 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{\text{поясн}13} = 0,3 * (17328,48 + 1386,28) = 5614,43 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{\text{поясн}10} = 0,3 * (13551,76 + 1084,14) = 4390,77 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{\text{поясн}} = 6634,81 + 5614,43 + 4390,77 = 16640,01 \text{ руб.}$$

ЗП исполнителей в месяц с учетом районного коэффициента:

$ЗП_{\text{исп}} = (ЗП_{\text{тар}} + ЗП_{\text{доп}}) * K$, где $K = 1,3$ - коэффициент Томской области.

$$ЗП_{\text{исп}15} = 1,3 * (20105,48 + 2010,55) = 28750,84 \text{ руб/мес.}$$

$$ЗП_{\text{исп}13} = 1,3 * (17328,48 + 1386,28) = 24329,19 \text{ руб/мес.}$$

$$ЗП_{\text{исп}10} = 1,3 * (13551,76 + 1084,14) = 19026,67 \text{ руб/мес.}$$

Считаем, что в месяце в среднем 21 рабочий день. Рассчитываем заработную плату за один день для каждого сотрудника: $ЗП_{\text{раб дня}} = (ЗП_{\text{тар}} / 21)$

$$ЗП_{\text{исп}15} = 20105,48 / 21 = 957,40 \text{ руб/день}$$

$$ЗП_{\text{исп}13} = 17328,48 / 21 = 825,17 \text{ руб/день}$$

$$ЗП_{\text{исп}10} = 13551,76 / 21 = 645,32 \text{ руб/день}$$

Рассчитываем заработную плату в соответствии план-графиком:

$$ЗП_{\text{исп}15} = 957,40 * 33 = 31594,2 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{\text{исп}13} = 825,17 * 51 = 42083,67 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{\text{исп}10} = 645,32 * 90 = 58078,8 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата исполнителей за весь период работы составит: $ЗП_{\text{осн}} = 31594,2 + 42083,67 + 58078,8 = 131756,67 \text{ руб.}$

Фонд заработной платы:

$$ФЗП = ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}} + ЗП_{\text{поясп}} = 131756,67 + 4480,97 + 16640,01 = 152877,65 \text{ руб.}$$

6.3.3. Отчисления во внебюджетный фонд.

В статью расходов «отчисления на социальные нужды» закладываются обязательные отчисления по установленным законодательством нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда,

государственного фонда занятости и медицинского страхования, от элемента «затраты на оплату труда» (30,2%).

$$ОВФ = 0,302 * ФЗП = 0,302 * 152877,65 = 46169,05 \text{ руб.}$$

6.3.4. Амортизация оборудования

Основной объем работ по разработке проекта был выполнен на компьютере первоначальной стоимостью 25 тысяч руб., с использованием принтера стоимостью 8 тысяч рублей.

Произведём расчёт амортизации стоимости компьютерной техники.

$$I_{амор.} = \frac{T_{исп.}}{T_{календ.}} \Phi_{ПК} I_a,$$

где: $T_{и}$ - число отработанных дней на ПК за период проектирования;

$T_{календ.}$ - число календарных дней в году;

$\Phi_{ПК}$ - первоначальная стоимость ПК и принтера;

H_a - срок полной амортизации

$$H_a = \frac{1}{T_{сл}}$$

$$I_{амор.} = \frac{90}{365 * 4} \Phi_{ПК} I_a = 406,85 \text{ руб.}$$

6.3.5. Прочие затраты

Включают в себя все расходы связанные с налоговыми сборами (не предусмотренными в предыдущих статьях), отчисления во внебюджетные фонды, платежи по страхованию, оплата услуг связи, представительские расходы, затраты на ремонт и прочее. Принимаем прочие затраты в размере 10% от суммы расходов на материальные затраты, услуги сторонних организаций, амортизации оборудования, затрат на оплату труда, отчисления на социальные нужды.

$$I_{проч.} = 0,1 (I_{з/пл.} + I_{соц.} + I_{мат.} + I_{амор.})$$

$$I_{проч.} = 0,1 (152877,65 + 46169,05 + 2570 + 406,85) = 20202,35 \text{ руб.}$$

6.3.6 Накладные расходы

Включает в себя затраты на хозяйственное обслуживание помещения, обеспечение нормальных условий труда, оплату за энергоносители и другие косвенные затраты. Принимаем размер накладных расходов как 16% от ФЗП.

$$I_{\text{накл.}} = 0,16 \cdot I_{\text{з/пл.}}$$

$$I_{\text{накл.}} = 0,16 \cdot 152877,65 = 24460,42 \text{ руб.}$$

6.3.7 Себестоимость разработки

$$I_{\text{проект.}} = I_{\text{з/п}} + I_{\text{соц.}} + I_{\text{мат.}} + I_{\text{амор.}} + I_{\text{проч.}} + I_{\text{накл.}}$$

$$I_{\text{проект.}} = 152877,65 + 46169,05 + 2570 + 406,85 + 20202,35 + 24460,42 = 246686,32 \text{ руб.}$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 6.3.3

Таблица 6.3.3 - Смета затрат на проектирование

Наименование	Обозначение	Сумма, руб.
Материальные затраты	$I_{\text{мат.}}$	2570
Заработная плата	$I_{\text{з/пл.}}$	152877,65
Социальные отчисления	$I_{\text{соц.}}$	46169,05
Амортизационные отчисления	$I_{\text{амор.}}$	406,85
Прочие издержки	$I_{\text{проч.}}$	20202,35
Накладные расходы	$I_{\text{накл.}}$	24460,42
Себестоимость проекта	$I_{\text{проект.}}$	246686,32
Прибыль	$0,4 \cdot I_{\text{проект.}}$	98674,53
Договорная цена	$I_{\text{проект.}} + 0,4 \cdot I_{\text{проект.}}$	345360,85

6.4 Определение затрат на осуществление

Для осуществления проекта необходимы затраты на приобретение оборудования, измерительных приборов, технологической оснастки и производственного инвентаря, транспортных средств и т.д. Капитальные вложения рассчитываются для конкретного оборудования предприятия по конкретным ценам в таблице 6.4.

Таблица 6.4 - Капитальные вложения на реализацию проекта

Группы и виды активов	Стоимость, руб.
-----------------------	-----------------

1 Основные средства: оборудование	
1.1 Компрессор	310600
1.2 Двигатель	22546
1.3 Частотный преобразователь	92000
2 Стоимость проекта	345360,85
Всего	770506,85

$$\Delta I_{\text{эл.эн}} = 15 - 13,9 = 1,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 2851,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год}$$

Тарифная ставка по электроэнергии с января 2016 года составляет 5 руб/кВт, поэтому:

$$\Delta I_{\text{эл.эн}} = \Delta \mathcal{E} \cdot \tau,$$

где $\Delta \mathcal{E}$ – экономия электроэнергии;

τ – тарифная ставка, кВт·ч.

$$\Delta I_{\text{эл.эн}} = 2851,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \cdot p = 14256 \text{ руб/год}.$$

После модернизации и автоматизации производственного процесса, штат сотрудников обслуживающих компрессорную установку можно сократить на одно рабочее место 6-го разряда, при месячной зарплате 26800 руб:

$$ЗП_{\text{год}} = 26800 \cdot 12 = 321600 \text{ руб/год}$$

После реализации данного проекта экономия предприятия составит;

$$\Delta I = \Delta I_{\text{эл.эн}} + ЗП_{\text{год}} = 14256 + 321600 = 335856 \text{ руб} / \text{год}$$

Срок окупаемости вложений данного проекта:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{проект.}} + K_{\text{обор.}}}{\Delta I} \quad T_{\text{ок}} = \frac{770506,85}{335856} = 2,3 \text{ года}$$

В результате капитальные затраты, вложенные в реализацию данного проекта окупятся в течение 2,3 года.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Мозговой Сергей Александрович

Институт	ИнЭО	Кафедра	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

- *Описание рабочей зоны на предмет возникновения:*
- *вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)*
- *опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)*
- *негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)*

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:
 - действие фактора на организм человека ;
 - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
 - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем индивидуальные защитные средства)
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности
 - электробезопасность (в т.ч. источники, средства защиты);
 - пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения);
3. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:
 - специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
 - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
4. Охрана окружающей среды:
 - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
 - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);

Перечень графического материала:

Схема искусственного заземления.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	Кандидат технических наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Мозговой Сергей Александрович		

7 Социальная ответственность

«Охрана труда - система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия». В нашей стране данные мероприятия выливаются в основные направления государственной политики в области охраны труда, которые отражены в статье 210 Трудового кодекса РФ. [13] Для обеспечения сохранения жизни и здоровья работников выделяются деньги, и проводятся профилактические мероприятия.

В этом разделе дипломной работы рассмотрены и проанализированы условия труда с точки зрения наличия и проявления вредных и опасных факторов, их воздействия на сотрудников предприятия. Разработаны мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии, а также мероприятия по противопожарной профилактике на рабочем месте мастера по обслуживанию компрессорной установки.

7.1 Анализ условий труда

Опасные и вредные производственные факторы делятся по природе действия группы:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

Вредный производственный фактор - производственный фактор, при воздействии которого на работника может привести к его заболеванию.

Опасный производственный фактор - производственный фактор, при воздействии которого на работника может привести к его травме. [13]

При обслуживании компрессора на мастера по обслуживанию компрессорной установки могут воздействовать опасные и вредные факторы приведённые таблице 14.

Таблица 14 - Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Ф а к т о р ы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Обслуживание компрессорной установки	повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов	-	СанПиН 2.2.4.548-96
	повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны	-	СанПиН 2.2.4.548-96 ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ
	влажность воздуха	-	СанПиН 2.2.4.548-96
	скорость движения воздуха	-	СанПиН 2.2.4.548-96
	тепловое излучение	-	ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ
	отсутствие или недостаток естественного света	-	СНиП П-4-79 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03
	недостаточная освещенность рабочей зоны	-	СП52.13330.2011
	повышенный уровень шума на рабочем месте	-	ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ СНиП П-12-77

	-	движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственно го оборудования	ГОСТ 12.2.062-81 ССБТ
--	---	---	--------------------------

Таблица 14 продолжение

	-	возможность поражения электрическим током	ГОСТ 12.2.007-75 ГОСТ 21130-75
--	---	--	-----------------------------------

7.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на сотрудников

Один из основных факторов, влияющих на работоспособность и здоровье человека - это состояние воздушной среды рабочего места и производственного помещения. Микроклимат производственного помещения – это климат внутренней среды этого помещения, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей. Таким образом, микроклимат данного производственного помещения, в котором установлен компрессор, характеризуется следующими параметрами:

- температурой воздуха t , °С
- относительной влажностью φ , %;
- скоростью движения воздуха v , м/с;
- интенсивность теплового излучения I , Вт/м².

Оптимальные микроклиматические условия при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционирования и теплового состояния организма без

проявления напряжений реакций терморегуляции, т.е. создают ощущение теплового комфорта и являются предпосылкой высокого уровня работоспособности. Для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Скорость движение воздуха является важным фактором, влияющим на самочувствие человека. Минимальная скорость движения воздуха, ощущаемая человеком, составляет 0,1-0,2 м/с.

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования не должна превышать 100 Вт/м².

Допустимая величина интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников: 21°C – при категории работ IIб. Время пребывания людей при данных параметрах микроклимата может составлять 8 часов.

Мероприятия по созданию условий для нормальной терморегуляции организма:

- устройство систем вентиляции;
- кондиционирование воздуха и отопление.

Допустимые микроклиматические условия (таблица 15) при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать проходящие и быстро нормализующиеся отклонения в функциональном и тепловом состоянии организма и напряжение реакций терморегуляции, не выходящие за пределы физиологически приспособленных возможностей.

Таблица 15 – Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, С°	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/сек	Температура поверхностей, С°
		Допустим. Значение	Допустим. Значение	Допустим. Значение	Допустим. Значение
1	2	3	4	5	6
холодный	Средней тяжести и IIб	15,0-22,0	15-75	0,2	14,0 – 23,0

Таблица 15 продолжение

теплый	Средней тяжести и IIб	16,0-27,0	15-75	0,2	15,0 - 28,0
--------	-----------------------	-----------	-------	-----	-------------

При таких условиях не возникает нарушений здоровья персонала, но могут наблюдаться дискомфортные теплоощущения, плохое самочувствия и снижение работоспособности.

Добиться оптимальных микроклиматических условий невозможно, потому что производственное оборудование (компрессор) должен находиться в прохладном помещении, для избегания перегрева.

Мероприятия для создания благоприятных микроклиматических условий:

- надежная работа систем отопления в холодный период;
- кондиционирование и вентиляция воздуха в течение всего года, т.к. и переохлаждение и перегрев организма человека ведет к нарушению жизненных функций;
- перед входом в производственное помещение, в котором установлен компрессор, оборудован тамбур, имеющий воздушную тепловую завесу от проникновения больших масс холодного

воздуха через место открывания дверей и ворот в большом производственном помещении;

- снабжение мастера средствами индивидуальной защиты (по сезону).

Отопление служит для поддержания заданной температуры воздуха в помещения в холодное время. Системы отопления бывают: водяные, паровые, воздушные и комбинированные, в зависимости от теплоносителя. В санитарно-гигиеническом отношении система водяного отопления наиболее эффективна.

Задачей систем вентиляции является обеспечение чистоты воздуха и заданных метеорологических условий в производственных помещениях. Вентиляция достигается удалением загрязнённого или нагретого воздуха из помещения и подачей в него свежего воздуха.

Задачей кондиционирования является обобщенное действие: либо подачи тепла, либо подачи воздуха.

Освещенность

Глаз человека наиболее приспособлен к естественному освещению. При недостатке естественного освещения используют искусственное освещение. Производственное освещение – это система, включающая в себя оба вида освещения, позволяющая осуществлять нормальный технологический процесс.

В настоящее время к производственному освещению предъявляют очень высокие требования гигиенического и технико-экономического характера. Качественное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое воздействие на персонал, что приводит к повышению производительности труда.

Нормирование освещенности производится в соответствии со СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение».

Освещение в производственных условиях определяется следующими основными параметрами:

- световой поток Φ , лм;
- сила света I , лд;
- освещенность E , лк,
- яркость L , кд/м*.

Источники освещения разделяют на: естественное, искусственное, совмещенное. При недостатке естественного освещения используют совмещенное освещение. Последнее представляет собой освещение, при котором в светлое время суток одновременно светят естественное и искусственное освещение. В данном производственном помещении используется совмещенное освещение: естественное боковое одностороннее дополняется искусственным общим освещением, т.к. в структуре компрессора есть мелкие детали (таблица 16).

Таблица 16 - Параметры систем естественного и искусственного освещения на рабочих местах

Наименование рабочего места	Тип светильника и источника света	Коэффициент естественной освещенности, КЕО, %	Освещенность при совмещенной системе, лк
		Норм. значение	Норм. значение
1	2	3	4
Производствен ное помещение	Люминесцентн ые лампы	0,5	200

Основная задача освещения - создание наилучших условий для видения, которая решается только осветительной системой, отвечающей следующим требованиям:

1. Освещенность на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительных работ;
2. Необходимо обеспечить достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности и в пределах окружающего пространства;

3. На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени;
4. В поле зрения должна отсутствовать прямая и отраженная близость -повышенная яркость светящихся поверхностей;
5. Величина освещенности должна быть постоянной во времени;
6. Следует выбирать необходимый спектральный состав света;
7. Следует выбирать оптимальную направленность светового потока;
8. Все элементы осветительных установок должны быть достаточно долговечны, электробезопасны и не должны являться причиной возникновения пожара или взрыва;
9. Установка должна быть удобной и простой в эксплуатации, отвечать требованиям эстетики.

Шум

Шум причиняет большой ущерб, отрицательно влияет на организм человека и понижает производительность труда. Утомление работников по причине сильного шума ухудшает качество работы, повышает уровень травматизма, т.к. на фоне этого шума не слышно сигналов транспорта, автопогрузчиков и других механизмов. При длительной продолжительности действия сильного шума вызывает общее утомление, впоследствии может привести к ухудшению слуха, а иногда и к глухоте. Таким образом, высокий уровень шума отрицательно воздействует на организм человека.

При нормировании шума используют два метода:

- нормирование по предельному спектру шума,
- нормирование уровня звука в дБ (таблица 17)

Таблица 17 - Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука (ГОСТ 12.1.003-83 с изм. 1999 г.)

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц	
---------------	--	--

	31, 5	63	125	250	500	100 0	200 0	400 0	800 0	Уровни звук и
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Помещение для компрессора (по факту)	110	99	92	86	82	79	77	74	71	86

Отсюда следует, шум на рабочих местах не должен превышать допустимых уровней. Согласно ГОСТ 12.1.003-83 «Шум», регламентируются предельно допустимые значения, характеризующие шум и вибрацию. Общие требования безопасности» [25] и СН 2.2.4/2.1.8562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [26]. На данном рабочем месте допустимый уровень звука 80 дБА, а по факту - 86 ДБ, что превышает нормативный уровень. Вредный фактор поступает через шум от работы компрессора.

Бесшумных производств практически не бывает, борьба с шумом – комплексная задача каждого производства.

Мероприятия по борьбе с шумом:

- уменьшение уровня шума в источнике его возникновения, за счет повышение качества балансировки вращающихся деталей;
- совершенствование смазки поверхностей;
- звукопоглощение и звукоизоляция;
- использование оптимальных режимов работы компрессора;
- установка глушителей шума;
- рациональное размещение оборудования;

- применение специальных средств индивидуальной защиты (противошумные наушники, шлемы, вкладыши).

Техника безопасности

1) Механический фактор

Безопасные условия, обеспечиваются правильной организацией работ, соблюдением техники безопасности. Во избежание механических травм, при работе движущихся механизмов и подвижных частей производственного оборудования необходимо соблюдать все правила техники безопасности. Меры для защиты от прикосновения вращающихся частей обслуживаемого оборудования: специальные кожухи [30].

2) Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества. Требования электробезопасности отражены в «Правилах устройства электроустановок», «Межотраслевых правил безопасности при эксплуатации электроустановок» и различных ГОСТах: ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты», ГОСТ 12.1.030-81 «ССБТ. Защитное заземление, зануление» [27], ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» [28].

Степень опасности электрических установок определяют условиями эксплуатации и характером окружающей среды. По степени опасности все помещения делятся на три категории.

Правила организации рабочего места мастера:

- сухое, т.к. относительная влажность воздуха не превышает 60%,
- переменное напряжение питающей сети 380/220 В, частотой 50 Гц;

- с возможностью одновременного прикосновения человека к имеющим соединения с землёй металлоконструкциям зданий, механизмов, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой. Помещение с данными условия является помещением с повышенной опасностью. [31]

При нормальном режиме работы оборудования опасность поражения током невелика. Однако, возможны режимы, называемые аварийными, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящихся под напряжением с заземленными конструкциями.

Факторы поражения электрическим током:

- электрическое сопротивление тела человека;
- величина напряжения и тока;
- продолжительность воздействия электрического тока;
- пути тока через тело человека;
- род и частота электрического тока;
- условия внешней среды и состояние человека.

При длительном воздействии допустимый безопасный ток принят в 1 мА (таблица 18).

Таблица 18 - Длительность протекания тока через тело человека

Длительность воздействия, с	...30	30	1	0,7	0,5	0,2
Допустимый безопасный ток, мА	1	6	50	70	100	250

Меры защиты от поражения током:

- обеспечение недоступности частей, находящихся под напряжением от прикосновения;
- электрическое разделение сети;

- устранение опасности поражения при появлении напряжения на корпусах, кожухах и других частях электрического оборудования: применение малых напряжений, использование двойной изоляции, выравнивание потенциала, защита заземлением, зануление, защитное отключение и т.д.;
- применение специальных защитных средств переносных приборов и приспособлений;
- организация безопасной эксплуатации электроустановок;
- применение индивидуальных средств защиты: изолирующие электрозащитные средства (штанги изолирующие, диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики, изолирующие подставки), ограждающие средства защиты, предназначенные для временного ограждения токоведущих частей, для временного заземления, предохранительные средства защиты, предназначенные для индивидуальной защиты от световых, тепловых и механических повреждений.

Исправность средств защиты необходимо проверять перед каждым применением, а также периодически через 6-12 месяцев.

Все работы, связанные с обслуживанием компрессорной установки, выполняются лицами, прошедшими специальное обучение по эксплуатации компрессора, и, получившие допуск к работе. Персонал обучен приемами и правилами техники безопасности.

Ежедневная проверка мастера включает:

- исправности заземления электроустройств и электропроводки;
- проверка защитных и блокировочных устройств;
- отсутствие посторонних предметов на рабочем месте;
- наличия ограждения вращающихся и перемещающихся деталей;
- исправность запоров электрошкафов (ключ от которых должен храниться у лица, имеющего право допуска);

- наличие медикаментов для оказания первой помощи и средств пожаротушения.

Расчёт и теория защитного заземления

Защитное заземление является одной из наиболее часто встречающихся мер защиты людей от поражения электрическим током и предназначено для снижения до малых величин шагового напряжения и напряжения прикосновения.

Основным параметром защитного заземления являемся допускаемая величина сопротивления заземляющего устройства, сопротивление, которое оказывает тогу замыкания на землю грунт, находящийся в зоне растекания.

Выделяют искусственное и естественное заземление. Под естественными понимаются такие металлические предметы, которые имеют хорошую связь с землёй. Это водопроводные трубы, свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле, металлические конструкции зданий и сооружений и т.п., [31]. В целях экономии затрат следует использовать в первую очередь естественные заземлители. Если сопротивление естественного заземлителя не соответствует допускаемому по нормам, то параллельно к нему подсоединяется искусственное заземление. Допускаемое сопротивление в данном случае будет определяться по формуле:

$$r'_3 = \frac{r_3 \cdot r_{e.з.}}{r_3 + r_{e.з.}},$$

где $r_{e.з.}$ – сопротивление естественного заземлителя;

r_3 – допускаемое сопротивление искусственного заземления при отсутствии естественного;

r'_3 – допускаемое сопротивление искусственного заземления при наличии естественного.

В случаях использования в качестве естественных заземлителей свинцовых оболочек кабелей, водопроводных труб либо других

трубопроводов, сопротивление таких заземлителей можно определить по формуле:

$$r_{ez} = \frac{0,366}{l_{e.z.}} \frac{l_{e.z.}^2}{d_{e.z.}}, \text{ либо}$$

$$r_{ez} = \frac{\rho}{2\pi} \frac{l_{e.z.}^2}{d_{e.z.}},$$

где $l_{e.z.}$ – длина естественного заземлителя, см;

$d_{e.z.}$ – диаметр естественного заземлителя, см;

$h_{e.z.}$ – глубина заложения (расстояние от поверхности земли до заземлителя), см;

ρ – удельное сопротивление грунта, Ом см;

κ_z – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления за счёт промерзания или просыхания грунта для горизонтально проложенных заземлителей [27].

Искусственные заземляющие устройства состоят из вертикальных электродов и горизонтально расположенной соединительной полосы.

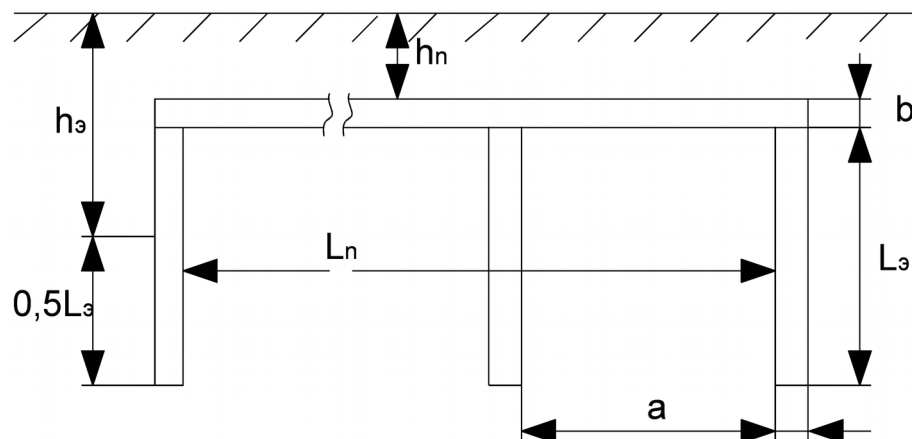


Рисунок 23 - Схема искусственного заземления

$l_{э.}$ – длина электрода, см;

$d_{э.}$ – диаметр электрода, см;

$h_{э.}$ – глубина заложения электрода, см;

a – расстояние между электродами, см;

b – ширина соединительной полосы, см;

h_n – глубина заложения соединительной полосы, см;

l_n – длина соединительной полосы, см;

Длина соединительной полосы определяется по формулам:

$$l_n = a \cdot n, \text{ если электроды расположены в ряд;}$$

$$l_n = a \cdot (n-1), \text{ если электроды расположены по контуру;}$$

где a – количество электродов

Поэтому, расчёт защитного заземления сводится к определению необходимого количества электродов, чтобы общее сопротивление не превышало допустимого по нормам.

$R=4(\text{Ом})$, т.к. сопротивление для электроустановок напряжением до 1000В с глухим заземлением нейтрали трансформаторов должно быть не более 4 Ом. Согласно ПУЭ [31].

Для цеховой ТП применяется контурное заземление.

1. Определяем сопротивление одного электрода

$$r_{\text{э.}} = \frac{0,366 \cdot \rho \cdot \gamma}{l_{\text{э}}} \cdot \lg \frac{2 \cdot d_{\text{э}}}{d_{\text{э.}}} + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot \frac{4 \cdot d_{\text{э}} + l_{\text{э}}}{4 \cdot d_{\text{э}} - l_{\text{э}}},$$

Материал электрода – уголковая сталь, ширина полки которой 5 см.

Принимаем:

- $d_{\text{э.}} = 0,95 \cdot \gamma = 4,75$ см;
- тип грунта – суглинок;
- климатическая зона

$$r_{\text{э.}} = \frac{0,366 \cdot 100^4 \cdot 2,3}{150} \cdot \lg \frac{2 \cdot 50}{4,75} + \frac{1}{2} \cdot 2,3 \cdot \frac{4 \cdot 50 + 150}{4 \cdot 50 - 150} = 60,63 \text{ Ом,}$$

2. Определяем предварительное количество электродов

$$n' = \frac{r_{\text{э.}}}{r_{\text{з}}} = \frac{60,63}{4} = 16,$$

3. Зная положение электродов (в ряд), отношение расстояния между электродами к их длине и предварительное количество электродов n' , определим коэффициент использования электродов – η_3

$$\eta_3 = 0,77$$

4. Определяем окончательное потребное количество электродов n

$$n = \frac{r_3}{r'_3} = \frac{60,63}{4,77} = 21,$$

5. Определяем длину соединительной полосы l_n

Так как расположение электродов было выбрано в ряд, длина соединительной полосы определяется по формуле:

$$l_n = a(n-1) = 150(21-1) = 3000,$$

6. Определяем сопротивление соединительной полосы

$$r_{II} = \frac{0,366 \cdot \rho_{II}}{l_{II}} \cdot \frac{2 \cdot \pi^2}{h_{II}},$$

$$r_{II} = \frac{0,366 \cdot 10^4 \cdot 0,7}{3000} \cdot \frac{2 \cdot 3000^2}{75} = 9,7$$

7. Определяем общее сопротивление контура защитного заземления

$$r_{\Sigma} = \frac{r_3 \cdot r_{II}}{r_3 + r_{II}},$$

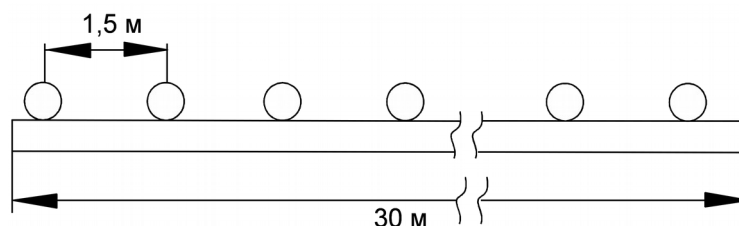
$$r_{\Sigma} = \frac{60,63 \cdot 9,7}{60,63 + 9,7} = 3,4,$$

8. Производим проверку выполнения условия

$$r_{\Sigma} \leq r_3,$$

$$3,4 < 4$$

Полученный результат соответствует требованиям и, следовательно, защитное заземление выбрано, верно.



7.3 Экологическая безопасность

Мероприятия по охране природы регламентируются ГОСТ 17.1.3.06-82 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод» [34], ГОСТ 17.2.1.03-84 «Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения» [35] и ГОСТ 17.1.3.13-86 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения» [36].

Любая промышленность опасна по загрязнению окружающей среды и отдельных ее объектов. Воздействует на такие компоненты как: воздух, почва, вода, растительный и животный мир, человек.

Воздух, удаляемый из производственных помещений, пропускается через специальные очистительные фильтрующие и обезвреживающие устройства, после чего попадает в атмосферу, эти меры значительно снижают загрязнение атмосферы.

Необходимо помнить, что отработанное масло, конденсат и компрессорные фильтры являются загрязняющими материалами, вредными для окружающей среды – литосферы. Поэтому предприятие заключает договора с организациями, занимающимися утилизацией данных видов отходов, которые обеспечивают своевременный вывоз отходов.

Бытовые и технические воды выводятся в канализацию, по которой воды попадают на очистные сооружения, где проходят очистку и обезвреживание.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

7.4.1. Пожарная и взрывная безопасность

Смазочные вещества, взрывоопасные и горючие газы и жидкости в больших объемах применяются на промышленных предприятиях. Как правило, основной причиной пожара и взрыва предшествует стадия накопления ошибок в объемно-планировочных решениях, недостатков

технологических процессов, дефектов оборудования, нарушения режимов его работы и недостаточного контроля. [14]

Во избежание таких проблем, на этапе проектирования необходимо правильно классифицировать производство и помещения. Для нашей работы установим следующее: помещение выполнено из железобетонных конструкций, не имеет деревянных и других воспламеняющихся материалов, согласно НПБ 105-03, выбираем категорию «Д».

Причины возникновения пожара:

- электрический характер (ненадежность контактной системы, короткое замыкание, перегрев проводов).

Мероприятия:

- чтобы предотвратить короткие замыкания проводят : измерения сопротивления изоляции (условие $R_{из} \geq 0,5$), защиту от механических повреждений (прокладка проводов и кабелей в трубах), использование коммутирующей аппаратуры для быстрого отключения места повреждения.

Рассматриваемое нами помещение, обеспечивается мероприятиями противопожарной профилактики и активной пожарной защиты.

Основы противопожарной защиты определены ГОСТ 12.1.004-91.

Мероприятия по противопожарной профилактике:

1. Организационные мероприятия:

- эксплуатация оборудования в соответствии с ПУЭ и ПТБ;
- соблюдение правил противопожарной безопасности (содержанию порядка в помещении);
- инструктаж рабочего персонала (направленный на соблюдение правил противопожарной безопасности);

2. Технические мероприятия:

- рациональное размещение оборудования (с проходами между компрессорами);
- соблюдение правил противопожарной безопасности, ПУЭ при устройстве оборудования, отопления, вентиляции.

3. Режимные мероприятия:

- запрет курения в неустановленных местах;
- строгое соблюдение ТБ во время работы;

4. Эксплуатационные мероприятия:

- ремонт вышедшего из строя оборудования;
- периодические испытания оборудования.

Для установки компрессора, ещё в стадии проектирования помещения был предусмотрен безопасный эвакуационный путь персонала на случай возникновения пожара, персонал сможет покинуть здание в течение минимального времени в соответствии с планом эвакуации.

Средства пожаротушения

Для тушения пожара с помощью огнетушителей, широко применяются различные химические средства, выбрасываемые в очаг пожара.

Например, углекислотные огнетушители типов ОУ-2А, ОУ-5, ОУ-8 и др., предназначенные для тушения возгорания различных материалов и электроустановок. В помещениях оборудуются специальные щиты и посты со следующим инвентарем:

- ручные углекислотные огнетушители ОУ-2, ОУ-5 (или другого типа);
- ящик с песком 3 м³ - 1 шт;
- асбест 2х1,5 м - 1 шт;
- ведро – 2 шт;
- лопата – 2 шт;
- багор.

7.4.2 Безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и социального характера

Основные причины:

- результат стихийных бедствий;
- воздействие внешних природных факторов (приводящие к старению материалов);

- технико-производственные дефекты сооружений;
- нарушение правил эксплуатации сооружений и технологических процессов;
- нарушение правил техники безопасности при ведении работ и во время технологических процессов.

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

Надежная работа предприятия (в условиях военного времени) неразрывно связана с защитой рабочих, служащих и членов их семей от оружия массового поражения.

Мероприятия для защиты в условиях военного времени):

- а) постоянная готовность системы оповещения;
- б) обеспечение фонда убежищ и противорадиационных укрытий;
- в) планирование и выполнение подготовительных работ по строительству на объекте быстро возводимых убежищ и ПРУ в загородной зоне;
- г) поддержание в готовности защитных сооружений и организация обслуживания убежищ и укрытий;
- д) планирование и подготовка к рассредоточению и эвакуации в загородную зону производственного персонала и членов их семей;
- е) накопление, хранение и поддержание готовности средств индивидуальной защиты;
- ж) обучение рабочих и служащих способам защиты от ОМП и действиям по сигналам оповещения ГО.

От устойчивости зданий и сооружений к ударной волне зависит в основном устойчивость всего объекта. Целесообразным пределом повышения устойчивости зданий и сооружений к такому воздействию считается такой, при котором полученные предприятием разрушения дают возможность его оправданного восстановления. Стремиться повышать

устойчивость всех зданий и сооружений не следует, так как это требует больших затрат, которые не всегда оправдываются. Необходимо повышать прочность наиболее важных элементов производства, от которых зависит работа всего предприятия.

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

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе был разработан и исследован регулируемый электропривод винтового компрессора FINI BSC 20 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

$f = 5 \text{ 600}$ и требуемый диапазон регулирования скорости компрессора. Переходные процессы в приводе протекают плавно с ограничением динамического момента, токов двигателя и преобразователя. Время пуска электропривода определяется и может быть изменено путём выбора значения постоянной времени задатчика скорости.

Спроектированный электропривод полностью отвечает условиям технического задания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о винтовом компрессоре – Режим доступа: <http://www.mvs-service.ru/>, дата обращения 25.04.2017.
2. 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 20.03.2017.
3. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о компрессоре компрессоры фирмы FINI BSC- Режим доступа: http://airbig.narod.ru/BscR-evo_RU.pdf, дата обращения 20.03.2017.
4. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о расчете винтового компрессора - Режим доступа: <http://electricalschool.info/elprivod/1076-moshhnost-na-valu-nasosov-ventiljatorov.html>, дата обращения 20.03.2017.

5. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: Учеб.пособие для вузов.-2-е изд.,доп. – М.: Высш.шк..2000. – 255с.,ил.
6. 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.
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. А.Ю. Чернышев. Электропривод переменного тока: учебное пособие/ А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 218с.
9. Справочник по автоматизированному электроприводу/ Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского.- М.: Энергоатомиздат, 1983.-616 с. ил.
10. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учебное пособие / О. П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин; Томской политехнический университет. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. – 476 с.
11. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о регулировании скорости в винтовом компрессоре - Режим доступа: http://www.kompressory.ru/SAVE_ENERGY/
12. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о преобразователя частоты серии Micromaster 420 – Режим доступа: [http://www.promautomatic.ru/MICROMASTER.html]
13. Трудовой кодекс РФ.
14. Раздорожный А.А. Охрана труда и производственная безопасность: учебник. – М.: Издательство «Экзамен», 2006. – 510с.
15. 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.

16. Кукин П.П., Лапин В.Л. и др. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. (Охрана труда): Учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1999. - 318с.
17. 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.
18. Охрана природы: Факульт. Курс: пособие для учащихся, под ред. К.В. Пашканга. – 2-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1990.
19. Протасов В.Ф., Молчанов А.В. Экология, здоровье и природопользование в России. – М.: Финансы и статистика, 1995. – 528.
20. Раздорожный А.А. Безопасность производственной деятельности: Учеб. пособие – М.: ИНФРА-М, 2003 – 208с.
21. 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.
22. 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.
23. ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
24. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01. 07. 92).
25. ГОСТ 12.1.003–83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
26. СН 2.2.4/2.1.8562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
27. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
28. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
29. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

30. ГОСТ 12.4.125-83. ССБТ. Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов. Классификация.
31. Правила устройства электроустановок. 6-ое изд. с изм. и дополн. – СПб.: ДЕАН, 1999. – 320 с.
32. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывоопасной и пожарной опасности.
33. Федосова В.Д. Расчет искусственного освещения. Метод. указания. – Томск: Изд-во ТПУ, 1991. – 23с.
34. ГОСТ 17.1.3.06-82 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод».
35. ГОСТ 17.2.1.03-84 «Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения».
36. ГОСТ 17.1.3.13-86 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения».