



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Частотно-регулируемый электропривод винтового компрессора

УДК 62-83-523:621.514.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Лещенко Андрей Викторович		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян М.В.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова А.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i> .
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

_____ А.С. Иващутенко

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Лещенко Андрею Викторовичу

Тема работы:

Частотно-регулируемый электропривод винтового компрессора

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3483/с от 06.05.2019г
---	-------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019г.
--	--------------

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	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Сотникова Анна Александровна
Названия разделов которые должны написаны на русском и иностранном языках	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2019г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Учёная степень звание	Подпись	Дата
Доцент	Каракулов А.С.	Кандидат технических наук		05.04.2019г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Лещенко Андрей Викторович		05.04.2019г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)
 Отделение Электроэнергетики и электротехники
 Профиль Электропривод и автоматика
 Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.05.2019	Основная часть	60
15.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
17.05.2019	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель

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

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

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

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит пояснительную записку, включающую 88 страницы, 22 рисунков, графиков, 16 таблиц, , 32 источника литературы.

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 пневмооборудовани, 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.

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ.....	9
ВВЕДЕНИЕ.....	10
1 Обзор компрессоров.....	11
1.2 Краткая характеристика винтового компрессора.....	12
1.2 Устройство и принцип работы винтового компрессора.....	17
2 Расчет мощности винтового компрессора.....	20
2.1 Выбор электродвигателя для компрессора и расчет его параметров.....	21
2.2 Расчет параметров схемы замещения электродвигателя.....	22
2.3 Расчет естественных характеристик электродвигателя.....	28
2.3.1 Расчет естественной механической характеристики.....	28
2.3.2 Расчет естественной электромеханической характеристики.....	30
2.3.3 Механическая характеристика компрессора.....	31
3 Обзор систем управления и способов регулирования электропривода.....	33
3.1 Системы управления электроприводом.....	33
3.2 Выбор преобразователя частоты.....	35
4 Расчет статических характеристик системы преобразователь – двигатель при частотном регулировании.....	38
4.1. преобразователь – двигатель при частотном регулировании.....	38
4.2 семейство характеристик при частотном регулировании.....	39
5 Частотно-регулируемый асинхронный электропривод со скалярным управлением.....	45
5.1 Проверка адекватности имитационной модели асинхронного двигателя в программной среде Matlab.....	45
5.2. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода компрессора со скалярным управлением.....	47
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ».....	52
6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	53
6.1 SWOT-анализ асинхронного электропривода винтового компрессора....	53
6.2 Планирование технического проекта.....	57
6.2.1. Определение структуры работ в рамках технического проектирования.....	57
6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	58
6.2.3 Разработка графика проведения технического проекта.....	59
6.3 Составление сметы технического проекта.....	61
6.3.1 Расчет материальных затрат.....	62
6.3.2. Полная заработная плата исполнителей ВКР.....	62
6.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	64
6.3.4 Накладные расходы.....	64
6.3.5 Формирование сметы технического проекта.....	65
6.4.Определение ресурсоэффективности проекта.....	65

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	68
6. Социальная ответственность	69
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	69
6.2 Производственная безопасность	71
6.2.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	72
6.2.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	74
6.2.3. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов	75
6.4 Экологическая безопасность	78
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	79
6.5.1 Защита электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок; 80	
6.5.2 . Воспламенения изоляции в следствии повышения температуры	81
6.5.3. Защита от высокого давления в ресивере	82
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	83
CONCLUSION	85
Список использованных источников.	86

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Винтовой компрессор предназначен для подачи сжатого воздуха в пневмооборудовани, завода по производству плит из вспененного полистирола.

Рассчитать электропривод компрессора со следующими параметрами:

Технические требования и условия

Режим работы – продолжительный, нагрузка реактивная;

- номинальная мощность двигателя $P_n = 15$ кВт;

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

- синхронная частота вращения $n_0 = 3000$ 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 ± 38) В, (50 ± 1) 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 монтаже 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 (компании 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]

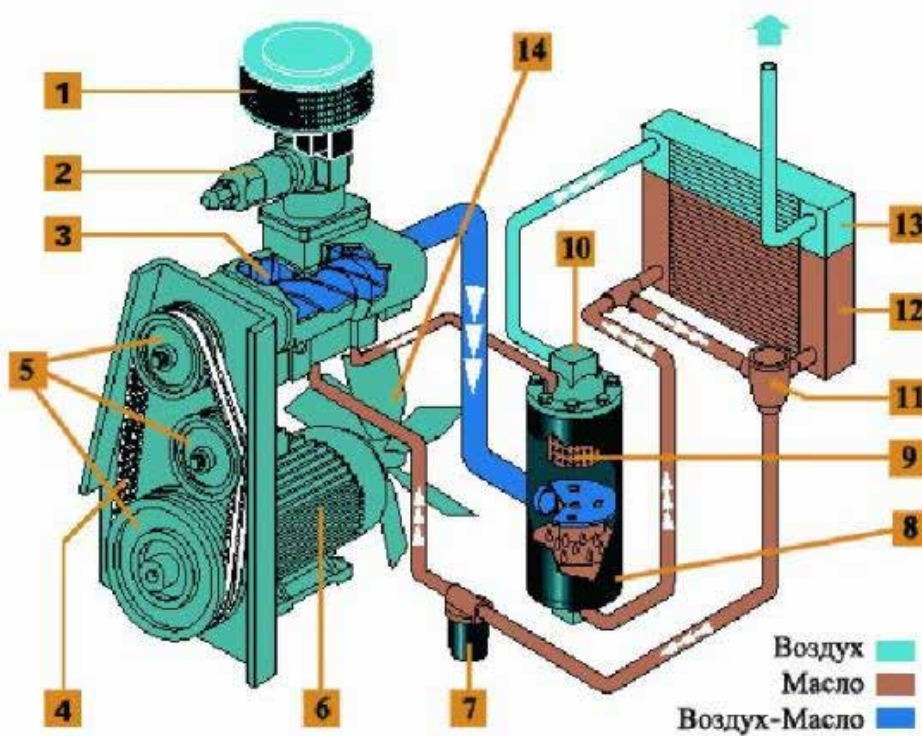


Рисунок 2 - Устройство винтового компрессора

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.

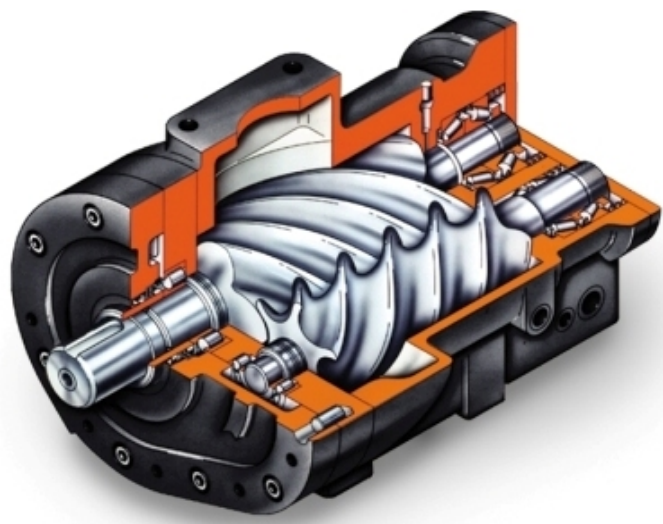


Рисунок 3 - Винтовой блок компрессора FINI BSC 20

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	Производительность м ³ /мин	Объем масла, кг	Размер, мм	Уровень шума, ДБ
BSC-20	10	2	5	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

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

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

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

2.1 Выбор электродвигателя для компрессора и расчет его параметров

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

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 $\cos \varphi_{\text{н}} = 0,87$;
- число полюсов $Z p = 1$;
- 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 $k_{\text{max}} = M_{\text{к}}/M_{\text{н}} = 2,5$;
- кратность пускового момента $k_{\text{п}} = M_{\text{п}}/M_{\text{н}} = 2,5$;
- кратность минимального момента $k_{\text{min}} = M_{\text{min}}/M_{\text{н}} = 1,6$;
- момент инерции на валу двигателя $J_{\text{дв}} = 0,0075 \text{ кг} \times \text{м}^2$.

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.

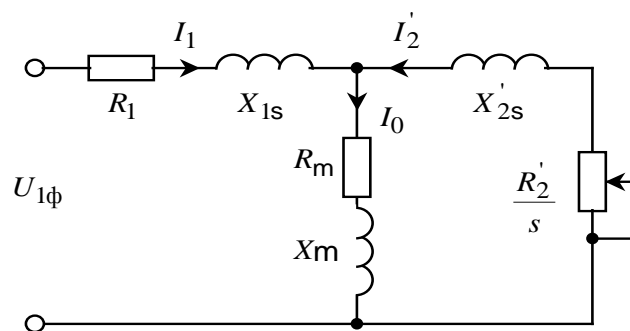


Рисунок 4 – Схема замещения АД

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_{1s} – 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'_{2s} – 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

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

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

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

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

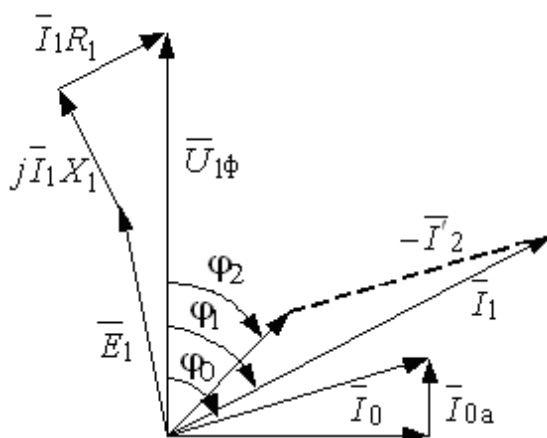


Рисунок 5 – Векторная диаграмма асинхронной машины

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

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

Номинальный ток статора

$$I_{1H} = \frac{P_H}{3 \times U_{1FH} \times \cos f_H \times \eta_H} = \frac{15 \times 10^3}{3 \times 220 \times 0,87 \times 0,85} = 30,73 \text{ A}.$$

Синхронная угловая частота вращения электромагнитного поля

$$\omega_0 = \frac{p}{30} \times n_H = \frac{p}{30} \times 3000 = 314,16 \text{ рад/с}.$$

Номинальная частота вращения и угловая скорость вращения двигателя

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - s_H) \times n_0 = (1 - 0,023) \times 3000 = 2931 \text{ об/мин};$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - s_H) \times \omega_0 = (1 - 0,023) \times 314,16 = 306,93 \text{ рад/с}.$$

Номинальный момент на валу двигателя

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

Ток статора двигателя при частичной нагрузке

$$I_{11} = \frac{p_* \times P_H}{3 \times U_{1H} \times \cos j_{p_*} \times \eta_{p_*}} = \frac{0,75 \times 15 \times 10^3}{3 \times 220 \times 0,85 \times 0,85} = 23,59 \text{ A}.$$

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

$\cos j_{p_*} = 0,98 \times 0,87 = 0,85$ - коэф-нт мощности при частичной нагрузке;

$\eta_{p_*} = \eta_H = 0,85$ - КПД двигателя при частичной нагрузке.

Ток холостого хода двигателя

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

$$= \sqrt{\frac{20,46^2 - \frac{0,75 \times 30,73 \times (1 - 0,023)}{(1 - 0,75 \times 0,023)} \dot{\psi}^2}{1 - \frac{0,75 \times (1 - 0,023)}{(1 - 0,75 \times 0,023)} \dot{\psi}^2}} = 8,422 \text{ A}.$$

Соотношение для расчета критического скольжения

$$s_k = s_H \times \frac{k_{\max} + \sqrt{(k_{\max})^2 - \frac{g}{1 - 2 \times s_H} \times b \times (k_{\max} - 1)}}{1 - 2 \times s_H \times b \times (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,023 \times \frac{2,5 + \sqrt{(2,5)^2 - \frac{g}{1 - 2 \times 0,023} \times 1,4 \times (2,5 - 1)}}{1 - 2 \times 0,023 \times 1,4 \times (2,5 - 1)} = 0,123$$

где

$$b = R_1 / (C_1 \times R_2');$$

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \times k_i \times I_{1H}} = 1 + \frac{8,422}{2 \times 7,5 \times 30,73} = 1,018.$$

Значение коэффициента b , согласно [6], находится в диапазоне $0,6 \div 2,5$, поэтому в первом приближении принимаем $b = 1,4$.

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора двигателя

$$R_2' = \frac{1}{(b + 1/s_k) \times C_1} \times \frac{m \times U_{1H}^2 \times (1 - s_H)}{2 \times C_1 \times k_{\max} \times P_H} = \frac{1}{(1,4 + 1/0,023) \times 1,018} \times \frac{3 \times 220^2 \times (1 - 0,023)}{2 \times 1,018 \times 2,2 \times 5 \times 10^3} =$$

$$= 0,191 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статорной обмотки

$$R_1 = C_1 \times R_2' \times b = 1,018 \times 0,191 \times 1,4 = 0,272 \text{ Ом.}$$

Параметр g , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$g = \sqrt{(1/s_k^2) - b^2} = \sqrt{(1/0,123^2) - 1,4^2} = 11,427.$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$X_{кн} = g \times C_1 \times R_2' = 11,427 \times 1,018 \times 0,191 = 2,22 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной

$$X_{2d}' = 0,58 * X_{кн} / C_1 = 0,58 \times 2,22 / 1,018 = 1,264 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки

$$X_{1d} = 0,42 X_{кн} = 0,42 \times 2,22 = 0,932 \text{ Ом.}$$

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

$$s_{кр} = \frac{C_1 \times R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}} = \frac{1,018 \times 0,191}{\sqrt{0,272^2 + 2,22^2}} = 0,087$$

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

$$E_1 = \sqrt{(U_{1н} \times \cos j_{н} - I_{1н} \times R_1)^2 + (U_{1н} \times \sqrt{1 - \cos^2 j_{н}} - I_{1н} \times X_{1н})^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \times 0,87 - 30,73 \times 0,272)^2 + (220 \times \sqrt{1 - 0,87^2} - 30,73 \times 0,932)^2} = 199,69 \text{ В.}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания

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

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{23,71}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,075 \text{ Гн.}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{1d} = \frac{X_{1d}}{2 \times p \times f_{1н}} = \frac{0,932}{2 \times p \times 50} = 0,002968 \text{ Гн.}$$

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

$$L'_{2d} = \frac{X'_{2d}}{2 \times p \times f_{1н}} = \frac{1,264}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,004025 \text{ Гн.}$$

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

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

R_1 , Ом	X_{1d} , Ом	L_{1d} , Гн	X_m , Ом	L_m , Гн	R_2' , Ом	$X_{2\delta}'$, Ом	L_{2d}' , Гн	$X_{кн}$, 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]

$$M_{\text{эм.н}}(s_H) = M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3 \times U_{1\text{фн}}^2 \times R_2'}{w_0 \times s_H \times \left[(X_{кн})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \times R_2'}{s_H \times X_m} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \times 220^2 \times 0,191}{314,16 \times 0,023 \times \left[2,22^2 + \left(0,272 + \frac{0,191}{0,023} \right)^2 + \left(\frac{0,272 \times 0,191}{0,023 \times 23,71} \right)^2 \right]} = 48,947 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = \frac{3}{2} \times z_p \times \frac{L_m}{(L_m + L_{2d}')} \times Y_{2H} \times \sqrt{2} \times \sqrt{I_{1H}^2 - I_0^2} =$$

$$= \frac{3}{2} \times 1 \times \frac{0,075}{(0,075 + 0,004025)} \times 0,899 \times \sqrt{2} \times \sqrt{30,73^2 - 8,422^2} = 53,502 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$\text{где } Y_{2H} = \sqrt{2} \times I_0 \times L_m = \sqrt{2} \times 8,422 \times 0,075 = 0,899 \text{ Вб}.$$

Должны выполняться два условия [10]

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

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

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

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 $w(M)$ асинхронного электродвигателя рассчитывается для частоты $f_{и}=f_{1н}=50$ Гц по выражению

$$M(s) = \frac{3 \times U_{1фн}^2 \times R_2'}{w_0 \times s \times \hat{e} (X_{кн})^2 + (R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (\frac{R_1 \times R_2'}{s \times X_m})^2 \hat{u} \hat{u}}$$

Задаем скольжением в пределах $s = -1, -0.99..1$ и рассчитываем в программе *Mathcad* естественную механическую характеристику $w(M)$ (рис. 6), где $w = w_0 \times (1 - s)$.

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

$$M_{эм.н}(s_H) = M_{эм.н} = \frac{3 \times U_{1фн}^2 \times R_2'}{w_0 \times s_H \times \hat{e} (X_{кн})^2 + (R_1 + \frac{R_2'}{s_H})^2 + (\frac{R_1 \times R_2'}{s_H \times X_m})^2 \hat{u} \hat{u}} =$$

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

критического скольжения

$$s_k = R_2' \times \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_m}\right)^2}{R_1^2 + X_{кн}^2}} = 0,191 \times \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{0,272}{23,71}\right)^2}{0,272^2 + 2,22^2}} = 0,085$$

и электромагнитного критического момента

$$M_{эм.н}(s_k) = M_{эм.к} = \frac{3 \mathcal{U}_{1\phi н}^2}{w_0 \times 2 \times R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{кн}^2) \times \left(1 + \frac{R_1}{X_m}\right)^2}} =$$

$$= \frac{3 \times 220^2}{314,16 \times 2 \times 0,272 + \sqrt{(0,272^2 + 2,22^2) \times \left(1 + \frac{0,272}{23,71}\right)^2}} = 91,662 \text{ Нм}.$$

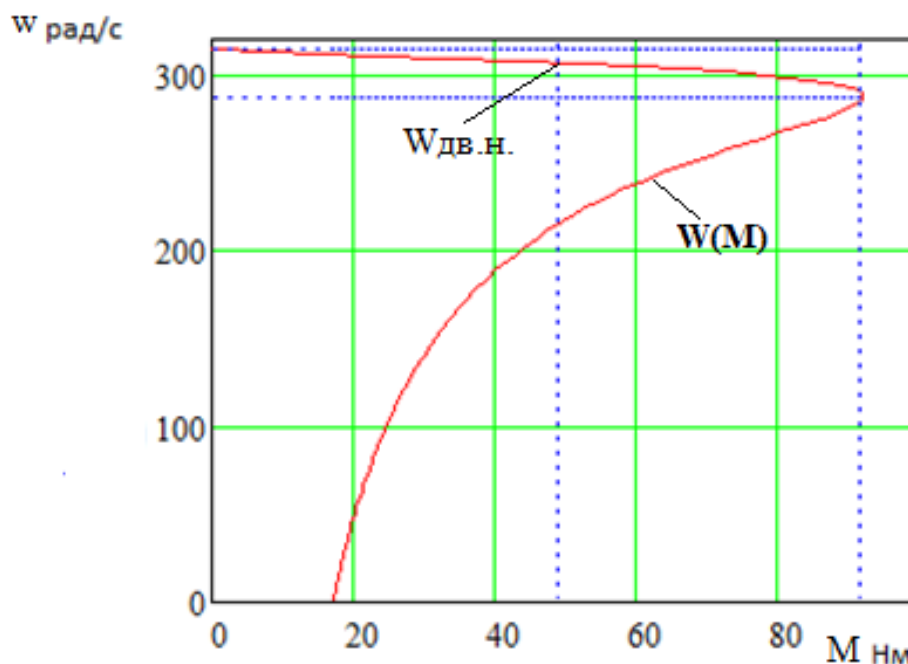


Рисунок 6 – Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя

2.3.2 Расчет естественной электромеханической характеристики

Естественная электромеханическая характеристика $I_1(s)$ электродвигателя рассчитывается для значения частоты $f_H = f_{1H} = 50$ Гц по выражению

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \times I_0 \times I_2'(s) \times \sin j_2(s)}, \quad (2.1)$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{KH})^2 + (\frac{R_1 \times R_2'}{s \times X_m})^2}}; \quad (2.2)$$

$$\sin j_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{KH})^2}}. \quad (2.3)$$

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

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

$$\begin{aligned} I_1(s_H) &= \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s_H) + 2 \times I_0 \times I_2'(s_H) \times \sin j_2(s)} = \\ &= \sqrt{8,927^2 + 24,859^2 + 2 \times 8,927 \times 24,859 \times 0,251} = 28,443 \text{ А}, \end{aligned}$$

где

$$I_2'(s_H) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s_H})^2 + (X_{KH})^2 + (\frac{R_1 \times R_2'}{s_H \times X_m})^2}} =$$

$$= \frac{220}{\pm \sqrt{(0,272 + \frac{0,191}{0,023})^2 + (2,22)^2 + (\frac{0,272 \times 0,191}{0,023 \times 23,71})^2}} = 24,859 \text{ A};$$

$$\sin j_2(s) = \frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s_H})^2 + (X_{\text{кн}})^2}} = \frac{2,22}{\sqrt{(0,272 + \frac{0,191}{0,023})^2 + (2,22)^2}} = 0,251;$$

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

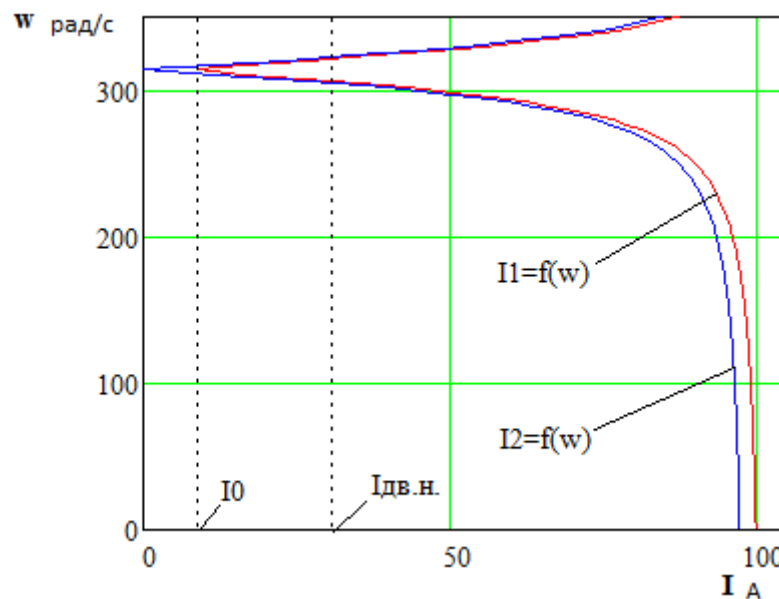


Рисунок 7 – Естественные электромеханические характеристики асинхронного электродвигателя.

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]

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

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]

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

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

$\omega_{дв.н} = 306,93 \text{ рад/с}$, 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 $\omega_{дв.н} = 306,93 \text{ рад/с}$, длительную

работу при максимальном моменте нагрузки и более чем двукратную перегрузку по моменту.

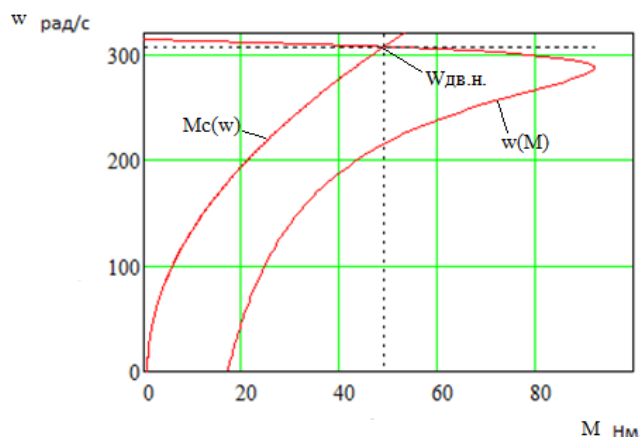


Рисунок 8 – Естественная механическая характеристика двигателя $\omega(M)$ и характеристики полного момента сопротивления на валу двигателя $M_c(\omega)$

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

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

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

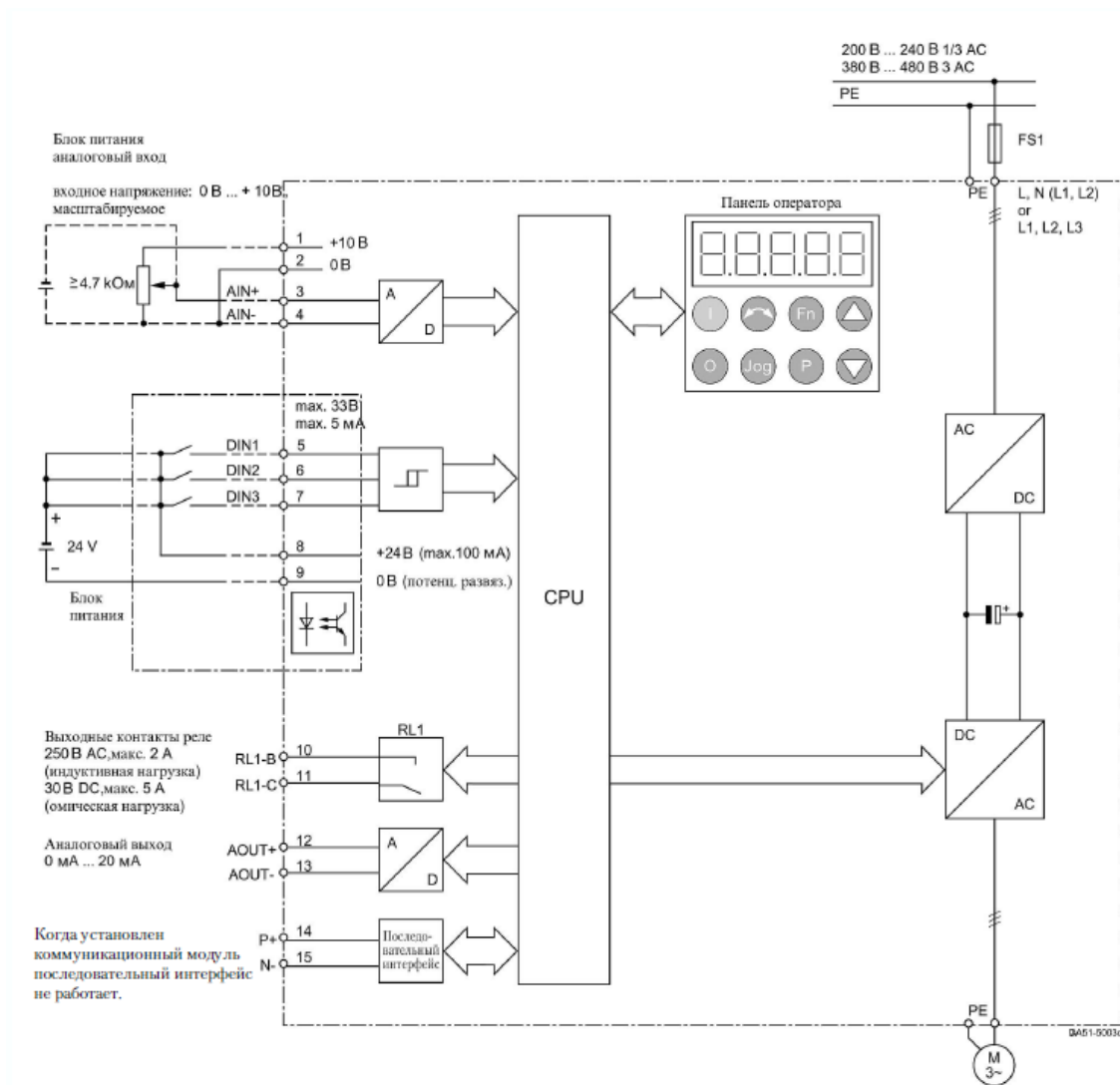


Рисунок 10 – Схема подключения преобразователя частоты Micromaster 430

4 Расчет статических характеристик системы преобразователь – двигатель при частотном регулировании

4.1. преобразователь – двигатель при частотном регулировании

Вольт-частотная характеристика ПЧ при законе регулирования

$$U_1 / f_1^2 = \text{const}, \text{ рассчитанная по выражению [10]}$$

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

приведена на рисунке 11 (характеристика 1).

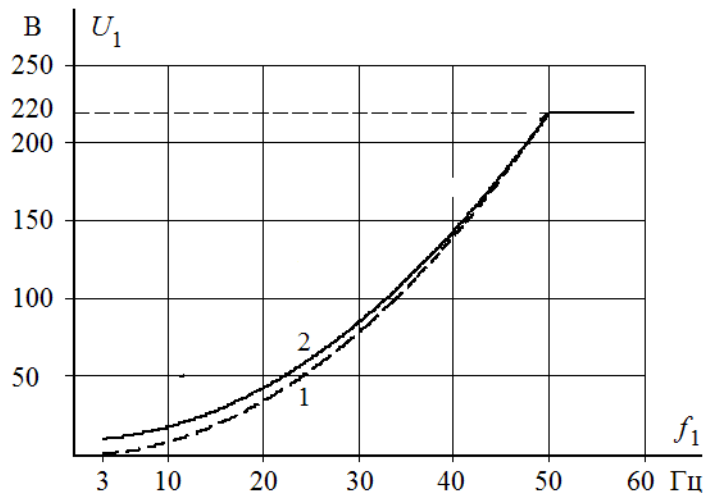


Рисунок 11 - Вольт-частотная характеристика преобразователя:

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

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

Максимальную частоту инвертора, соответствующую номинальному режиму работы насоса определяем из условия обеспечения номинальной рабочей скорости двигателя $\omega_{\text{дв.н}} = 306,93 \text{ рад/с}$. 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: $f_{1н1}=50$ Гц; $f_{1н2}=30$ Гц; $f_{1н3}=15$ Гц; $f_{1н4}=5$ Гц

рассчитываются с помощью программы *Mathcad* по выражениям:

$$M(s, f_1) = \frac{3 \times U_1(f_1)^2 \times R_2'}{w_0 \times \frac{f_1}{f_{1н}} \times s \times X_{кн} \times \frac{f_1}{f_{1н}} \times \frac{1}{\omega} + R_1 + \frac{R_2'}{s} + \frac{R_1 \times R_2'}{s \times X_m \times \frac{f_1}{f_{1н}} \times \frac{1}{\omega}}}, \quad (4.2)$$

$$= \frac{3 \times U_1(f_1)^2 \times 0,191}{314,16 \times \frac{f_1}{50} \times s \times 2,22 \times \frac{f_1}{50} \times \frac{1}{\omega} + 0,272 + \frac{0,191}{s} + \frac{0,272 \times 0,191}{s \times 23,71 \times \frac{f_1}{50} \times \frac{1}{\omega}}}$$

где

$$U_1(f_1) = U_{1фн} \times \frac{f_1}{f_{1н}} = 220 \times \frac{f_1}{50};$$

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

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

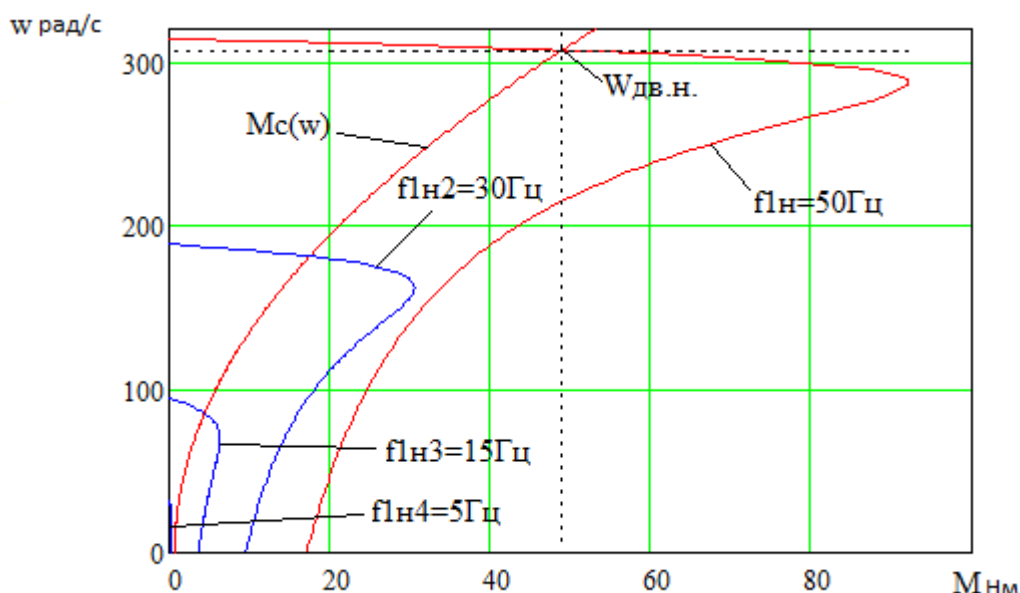


Рисунок 12- Механические характеристики $w(M)$ системы преобразователь – двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$:

$$DM_{с.дв} = 0,077 \text{ Н}\cdot\text{м} ; M_{смакс} = M_{дв.н} = 48,947 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

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 $f_{и.мин} = 5 \text{ Гц}$.

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

В итоге вольт-частотная характеристика представлена зависимостью

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

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.

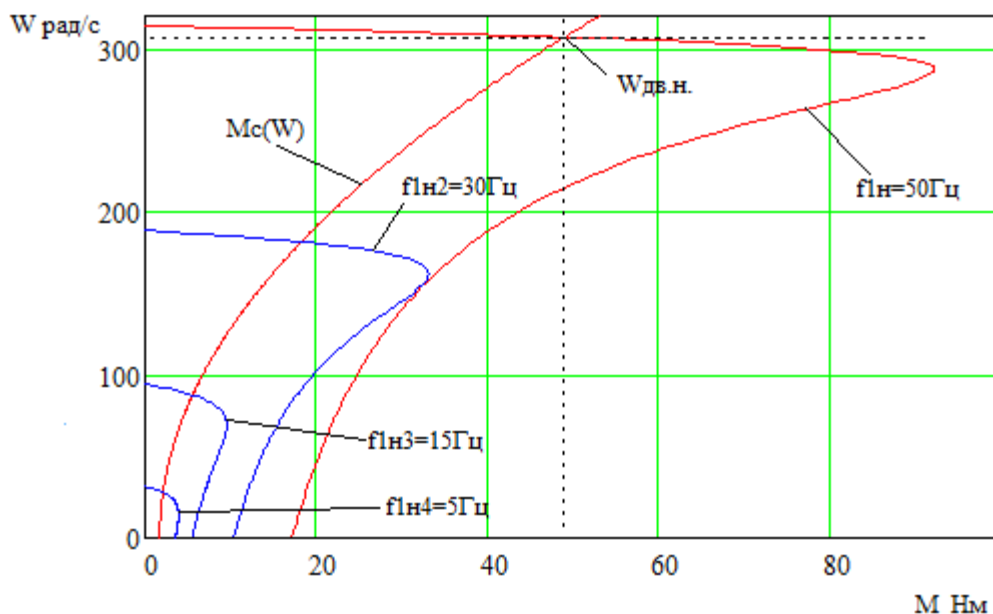


Рисунок 13- Механические характеристики $w(M)$ системы преобразователь – двигатель при настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3)

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 $f_{1n4}=5$ Гц.

Электромеханические характеристики $w(I_1)$ 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:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2^2(s, f_1) + 2 \times I_0(f_1) \times I_2'(s, f_1) \times \sin f_2(s, f_1)}; \quad (4.4)$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1s} + X_m)^2 \times \frac{\omega f_1}{f_{1H}}}} = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{0,083^2 + (0,194 + 7,6)^2 \times \frac{\omega f_1}{f_{1H}}}}; \quad (4.5)$$

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\frac{\omega}{f_{1H}} R_1 + \frac{R_2'}{s} + \frac{\omega}{f_{1H}} X_{KH} \times \frac{f_1}{f_{1H}} + \frac{\omega}{f_{1H}} \frac{R_1 \times R_2'}{s \times X_m \times \frac{f_1}{f_{1H}}}}} = \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{0,272 + \frac{0,191}{s} + 2,22 \times \frac{f_1}{f_{1H}} + \frac{0,272 \times 0,191}{s \times 23,71 \times \frac{f_1}{f_{1H}}}}}; \quad (4.6)$$

$$\sin j_2(s, f_1) = \frac{X_{KH} \times \frac{f_1}{f_{1H}}}{\sqrt{\frac{\omega}{f_{1H}} R_1 + \frac{R_2'}{s} + \frac{\omega}{f_{1H}} X_{KH} \times \frac{f_1}{f_{1H}}}} = \frac{2,22 \times \frac{f_1}{f_{1H}}}{\sqrt{0,272 + \frac{0,191}{s} + 2,22 \times \frac{f_1}{f_{1H}}}}; \quad (4.7)$$

где

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

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

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 $f_1 = f_{1н1}, f_{1н4}$ 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.

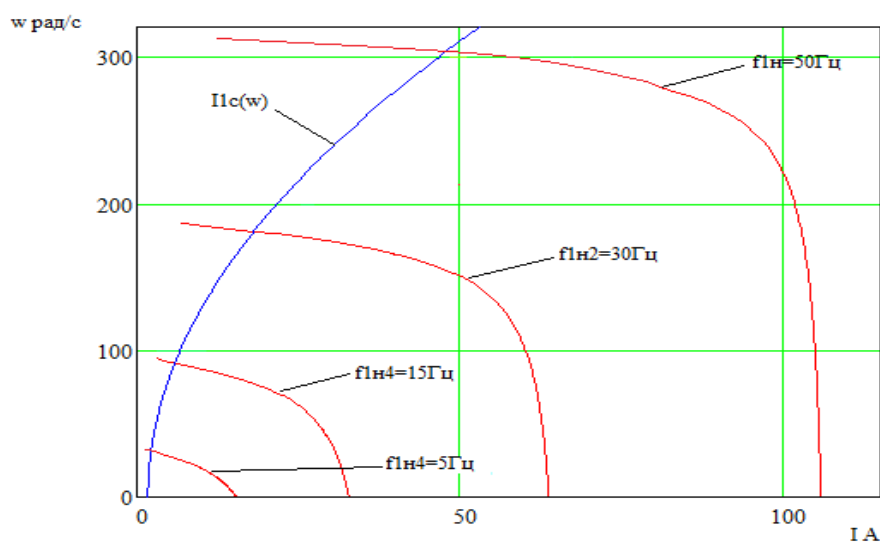


Рисунок 14 - Электромеханические характеристики электропривода $\omega(I_1)$ при скалярном управлении после настройки вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3)

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 потока сцепления ротора представлена следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{U}_{1a} = R_1 (T_1 p + 1) I_{1a} - \frac{R_2' L_m}{L_2'} y_{2a} - \frac{L_m}{L_2'} z_p w y_{2b}; \\ \dot{U}_{1b} = R_1 (T_1 p + 1) I_{1b} - \frac{R_2' L_m}{L_2'} y_{2b} - \frac{L_m}{L_2'} z_p w y_{2a}; \\ 0 = (T_2 p + 1) y_{2a} - L_m I_{1a} + \frac{L_2'}{R_2'} z_p w y_{2b}; \\ 0 = (T_2 p + 1) y_{2b} - L_m I_{1b} + \frac{L_2'}{R_2'} z_p w y_{2a}; \\ M_{\text{дв.эм}} = \frac{3}{2} \times \frac{L_m}{L_2'} z_p (y_{2a} I_{1b} - y_{2b} I_{1a}); \\ \dot{w} = \frac{1}{Jp} (M_{\text{дв.эм}} - M_c \times \text{sign}(w)) \end{cases}$$

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.

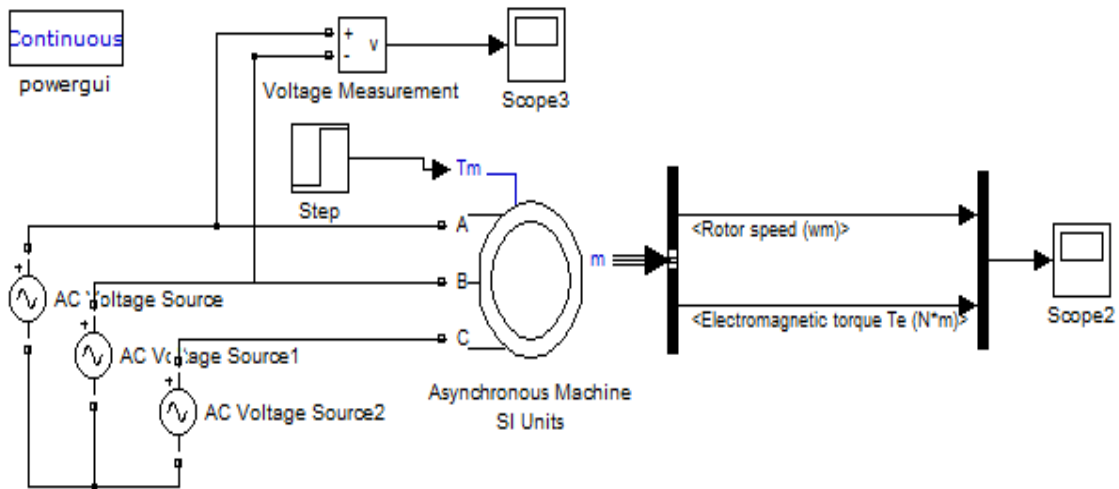


Рисунок 15 - Имитационная модель прямого пуска асинхронного двигателя

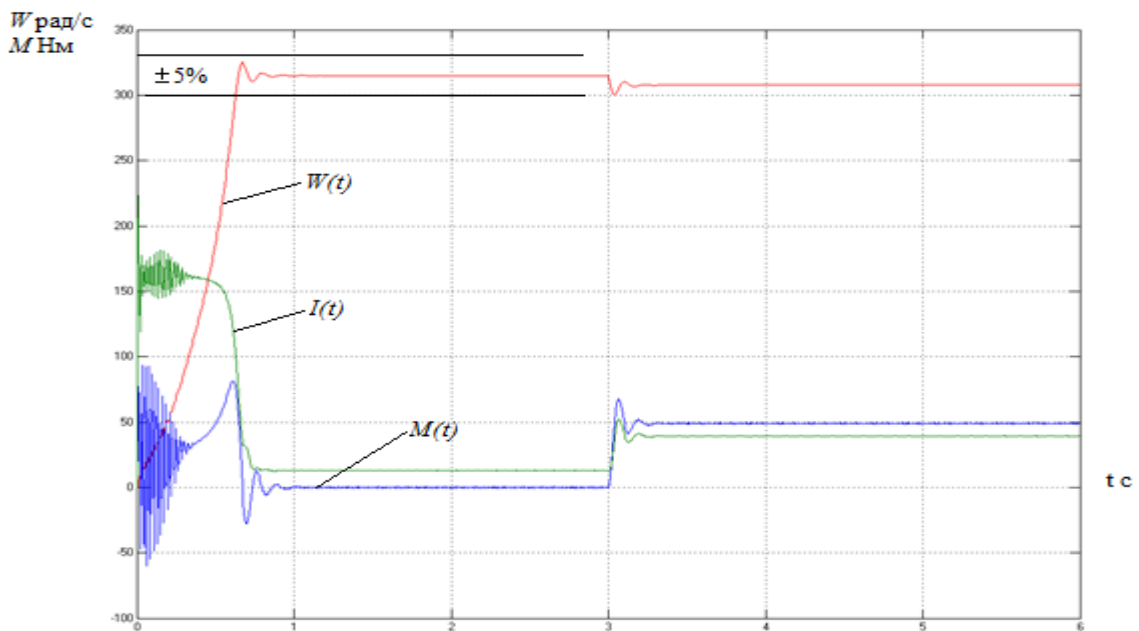


Рисунок 16 - Переходные характеристики скорости ротора, тока и электромагнитного момента АД при прямом пуске, набросе нагрузки

Сравнивая значения скорости, тока и электромагнитного момента переходных процессов двигателя под нагрузкой (рисунок 19) со значениями скорости ($\omega_{дв.н} = 306,93 \text{ рад/с}$), тока ($I_{1н} = 30,73 \text{ А}$) 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 $U_1 / f_1^2 = \text{const}, f=5 \text{ Гц}$

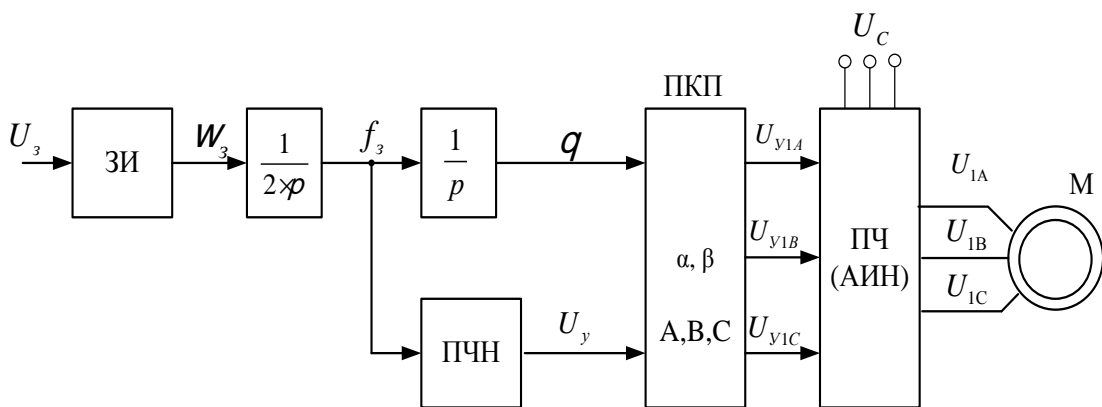


Рисунок 17 - Функциональная схема системы скалярного частотного управления

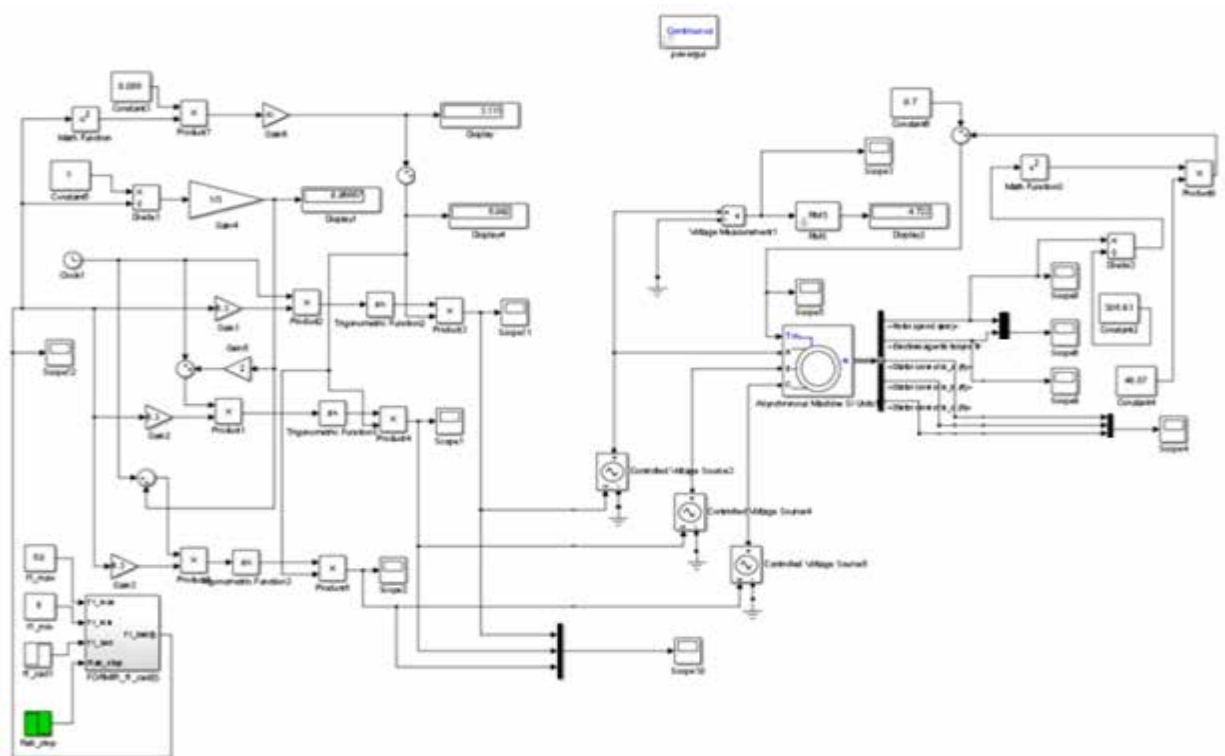


Рисунок 18- Имитационная модель разомкнутой системы ПЧ-АД со скалярным управлением $U_1 / f_1^2 = \text{const}$

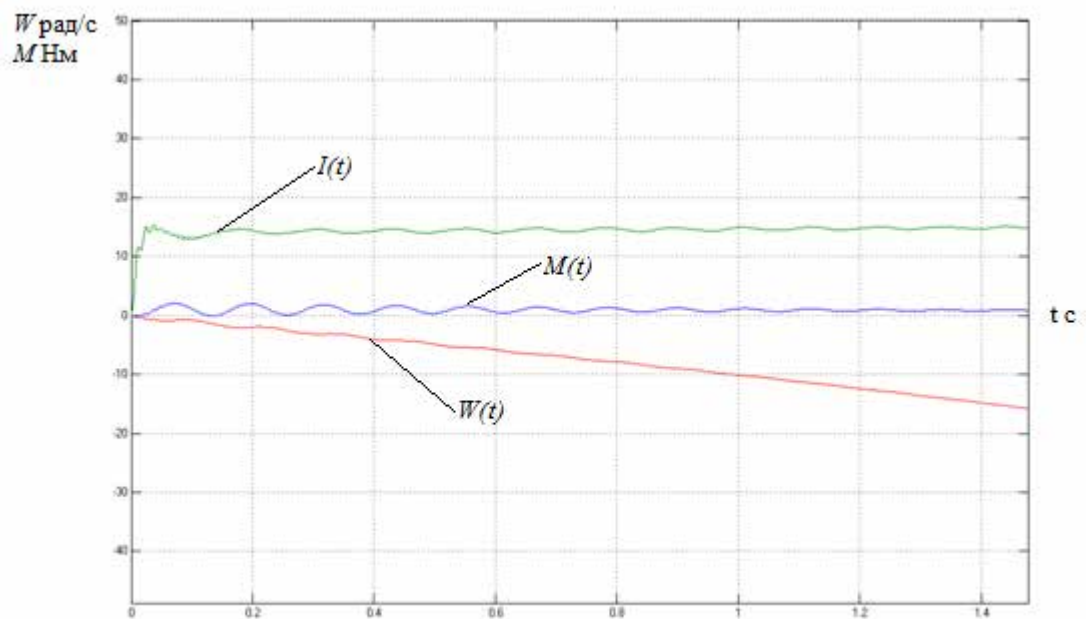


Рисунок 19 - переходные характеристики скорости, тока и электромагнитного момента системы преобразователь – двигатель при законе регулирования $U_1 / f_1^2 = \text{const}$, $f=5$ Гц.

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 $f_{и.мин} = 5$ 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.

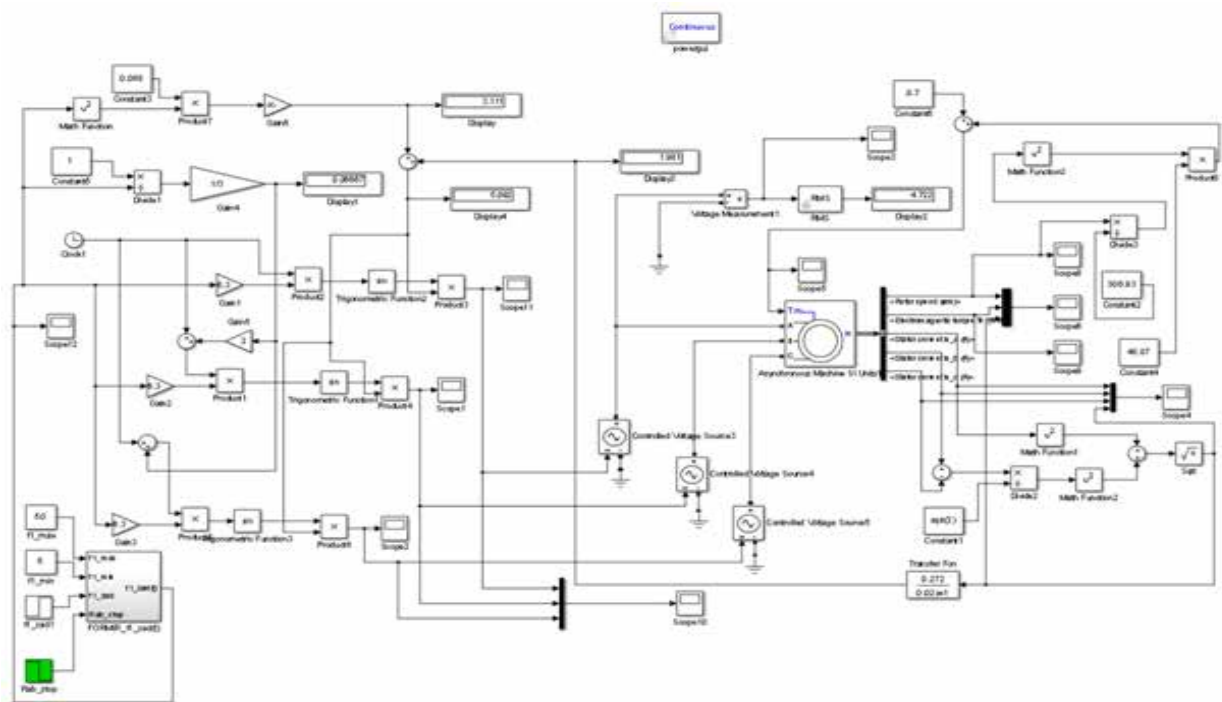


Рисунок 20- Имитационная модель системы ПЧ-АД со скалярным управлением $U_1/f_1^2 = \text{const}$ с IR-компенсацией

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 $T_{зи} = 1$ с.

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

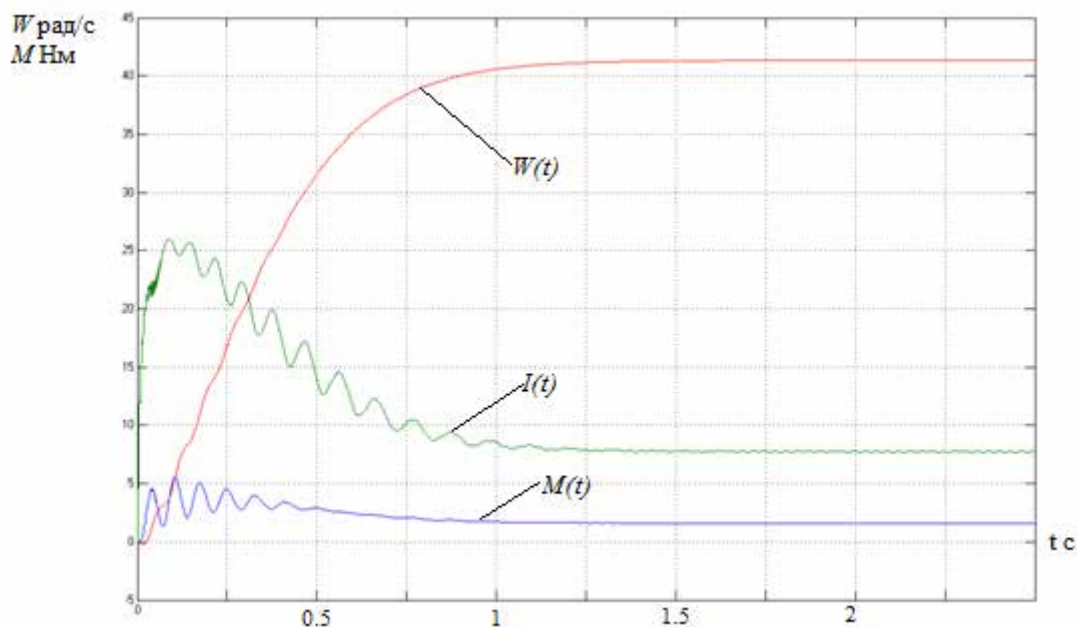


Рисунок 20 - переходные характеристики скорости, тока и электромагнитного момента системы преобразователь – двигатель при настройке IR-компенсации в соответствии с (4.3), $f=5$ Гц.

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

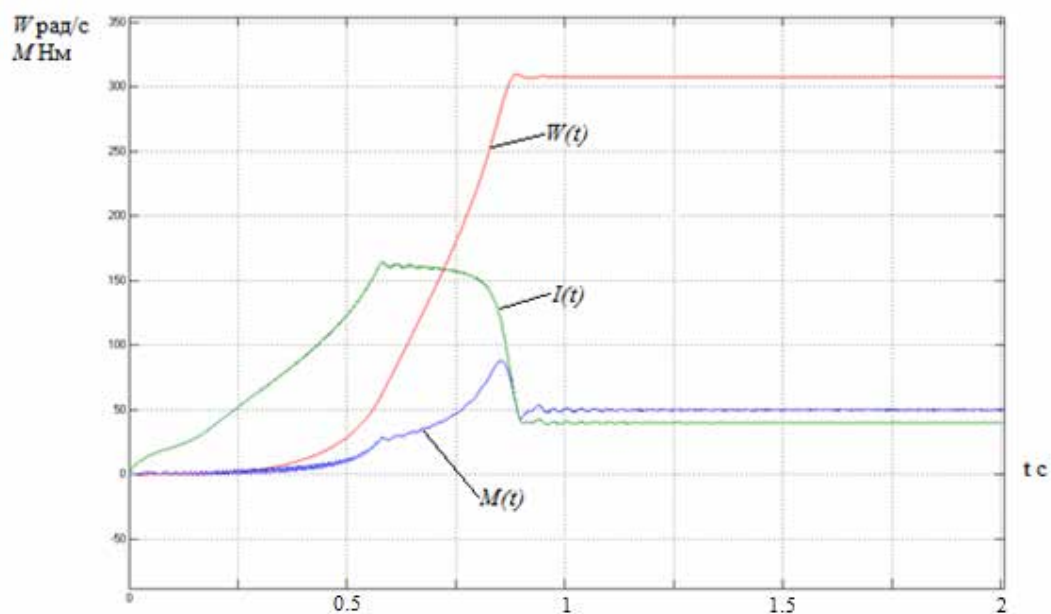


Рисунок 21 - переходные характеристики скорости, тока и электромагнитного момента системы преобразователь – двигатель при настройке IR-компенсации в соответствии с (4.3), $f=50$ Гц

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
3-5Г4А2	Лещенко Андрей Викторович

Школа	ИШЭ	Отделение школы	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость затрат технического проекта	В техническом проекте были задействованы 2 человека, (руководитель ,дипломник). Затраты на материальные ценности определяются согласно прейскуранту. Заработная плата рассчитывается в соответствии с окладами сотрудников ТПУ.
2. Продолжительность выполнения	Приблизительная оценка продолжительности выполнения технического проекта определяется исходя из ожидаемой трудоёмкости работ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта 2. Планирование и формирование графика работ по реализации технического проекта	Для составления графика по проектированию асинхронного электропривода винтового компрессора. • Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа • оценить технический проект выявляя при этом сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы • определить трудоемкость работ для каждого исполнителя. По полученным данным построить диаграмму Ганта, которая, позволяет спланировать процесс реализации технического проекта
2. Формирование сметы технического проекта	В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям: · материальные затраты; · полная заработная плата исполнителей; · отчисления во внебюджетные фонды; · накладные расходы
3. Ресурсоэффективность технического проекта	Оценка эффективности проекта производится с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности

Перечень графического материала:

График Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

11,03,2019г.

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н ,доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Лещенко Андрей Викторович		

6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы является подтверждение целесообразности разработки технического проекта, отвечающего всем нынешним требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- Составление SWOT-анализа работы подкачивающей насосной станции.
- Планирование технико-конструкторских работ
- расчет затрат на проектные работы электропривода насосной установки подкачивающей насосной станции
- Определение ресурсной эффективности проекта

6.1 SWOT-анализ асинхронного электропривода винтового компрессора

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [8].

Применительно к проекту по разработке электропривода винтового компрессора. SWOT-анализ позволит оценить положительные и отрицательные стороны проекта.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, которая помогает выявить соответствия слабых и сильных сторон проекта, а также их возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT-анализа стоит использовать следующие обозначения: **С** – сильные стороны проекта; **Сл** – слабые стороны проекта; **В** – возможности; **У** – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 6.1.

Таблица 6.1- Матрица SWOT-анализа технического проекта

	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	<p>C1. Высокое качество питающего напряжения</p> <p>C2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации</p> <p>C3. Квалифицированный персонал</p> <p>C4. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание Оборудования</p>	<p>Сл1. Повышенный уровень шума</p> <p>Сл3. Значительная стоимость оборудования</p>
Возможности:		
V1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	V1 C1C2C3C4	V1 Сл2Сл3;
V2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	V2 C2C4	V2 Сл1Сл2
Резервное питание электропривода винтового компрессора.	V3 C1C2C4	V3 Сл2Сл3.
V4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	V4 C1C3	
Угрозы:		
У1. Развитая конкуренция технологии производства	У1	У1 Сл3
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	У2	
У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной шахтовой инспекции	У3 C4	У3 Сл2

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения: «+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие.

Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 6.2 и 6.3.

Таблица 6.2 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта			
	С1. Высокое качество питающего напряжения	С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации	С3. Квалифицированный персонал	С4. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	+	+	+	-
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	-	+	+	+
В3. Резервное питание электропривода винтового компрессора.	+	+	+	+
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок	+	-	-	+
Возможности	Слабые стороны проекта			
	Сл1. Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования	
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	-	+	+	
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	+	+	-	
В3. Резервное питание электропривода винтового компрессора.	-	+	+	
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок	-	-	-	

Таблица 6.3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта			
	С1. Высокое качество питающего напряжения	С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации	С3. Квалифицированный персонал	С4. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования
У1 Развитая конкуренция технологии производства	-	-	-	+
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	-	-	-	+
У3 Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной шахтовой инспекции	-	-	-	-
Угрозы	Слабые стороны проекта			
	Сл1 Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования	
У1 Развитая конкуренция технологии производства	-	-	+	
У2 Риск несвоевременной поставки оборудования	-	-	-	
У3 Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной шахтовой инспекции	+	-	-	

По результатам интерактивных матриц, приведенных в ниже, видно, что самой сильной стороной проекта является надежность защит и аварийной сигнализации, так как несвоевременная ликвидация ошибок и аварий может повлечь за собой опасность для жизни людей, а также нарушение технологического процесса. Кроме того, большая экономия потребляемой электрической энергии и высокое качество питающего напряжения показывают перспективность проекта в целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

6.2 Планирование технического проекта.

Организация работ технического проекта осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- разработка графика проведения технического проектирования.

6.2.1. Определение структуры работ в рамках технического проектирования

В данном разделе, представлен весь перечень этапов и работ, а также дано краткое описание работ, выполненных в ходе технического проектирования:

№1 – разработка технического задания (ТЗ) – представляет собой изучение первичной информации об объекте, требования к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№2 – сбор и изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, в том числе области применения оборудования, касающихся различных сторон технического проекта;

№3 – сбор исходных данных – это выбор из изученных источников электрических схем соединения; параметров двигателя; параметров частотного преобразователя.

№4 – подготовка данных для ввода в базу комплекса – составление схем замещения, расчет естественных характеристик электродвигателя, расчет параметров схемы замещения;

№5 – отладка базы данных и проведение тестовых расчетов – перепроверка всех введенных значений, формул и схем;

№6 – выбор оборудования – необходимо произвести выбор оборудования из изученных ранее источников. Данная работа формируется из приводного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, частотного преобразователя и определения типа вентилятора местного проветривания;

№7 – расчёт и проверка модели АД – построение естественных механических и электромеханических характеристик в среде MATLAB при холостом пуске и пуске с нагрузкой;

№8 – расчёт и проверка модели АД-ПЧ – расчет статических характеристик системы преобразователь-двигатель, расчет и построение механических $w(M_{эм})$ и электромеханических $w(\Pi_1)$ характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты в среде MATLAB;

№9 – оформление пояснительной записки – окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовку к защите, подготовка презентации;

№10 – сдача проекта – это заключительный этап выполнения ВКР, в котором дипломник осуществляет защиту своей работы.

6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников выполнения проекта. Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в рабочих-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения, ожидаемого значения трудоемкости i тож используется следующая формула [9]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5},$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы раб.дн.;
 $t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

6.2.3 Разработка графика проведения технического проекта

В рамках планирования технического проекта необходимо построить ленточный график проекта.

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

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 6.4 строим план-график проведения работ (таблица 65.)

Продолжительность выполнения технического проекта заняла 8,4 декады, начиная со второй декады марта и заканчивая первой декадой июня.

Продолжительность выполнения технического в календарных днях заняла 84 дня. Из них:

70 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;

12 выходных дней и 2 дня праздничных.

7 дней – продолжительность выполнения работ научный руководителя;

Подэтапы	Исполнители	Раб.дни	Продолжительность выполнения работ										
			Март		Апрель			Май			Июнь		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1		
1. Составление ТЗ	Руководитель	1	■										
2. Сбор и изучение литературы	Дипломник	6	■										
3. Сбор исходных данных	Дипломник	6		■									
4. Подготовка для ввода в базу	Дипломник	6			■								
5. Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	12			■								
	Руководитель	1					■						
6. Выбор оборудования	Дипломник	2					■						
7. Расчет и проверка модели АД	Дипломник	11					■						
	Руководитель	1							■				
8. Расчет и проверка АД-ПЧ	Дипломник	12						■					
	Руководитель	1									■		
9. Оформление пояснительной записки	Дипломник	5									■		
	Руководитель	1										■	
10. Сдача технического проекта	Дипломник	1										■	
	Руководитель	1											■

Результаты расчетов продолжительности выполнения работ приведены в таблице 6.4

Таблица 6.4 – Расчет продолжительности выполнения работ, раб.дн.

№ этапа работы	Вид работ	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость	Максимально возможная трудоемкость	Ожидаемая трудоемкость
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	1	1
2	Сбор и изучение литературы	Дипломник	6	10	7
3	Сбор исходных данных	Дипломник	6	10	7
4	Подготовка для ввода в базу	Дипломник	6	10	7
5	Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
6	Выбор оборудования	Дипломник	2	4	3
7	Расчёт и проверка модели АД	Дипломник	11	14	12
		Руководитель	1	1	1
8	Расчет и проверка АД-ПЧ	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
9	Оформление пояснительной записки	Дипломник	5	9	7
		Руководитель	1	3	2
10	Сдача проекта	Дипломник	1	1	1
		Руководитель	1	1	1

6.3 Составление сметы технического проекта

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- материальные затраты
- полная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

6.3.1 Расчет материальных затрат

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители (флеш-карты), картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = \sum_{i=1}^m C_i \times N_{расхi},$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, прейскуранта канцелярского магазина ТД „Канцелярский мир”.

Привлечение сторонней организации „Pechat 24” для типографических работ. приведена в таблице 6.6.

Таблица 6.6. Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	1	320	320
Ручка	1	12	12
Файлы для бумаги	1	50	50
USB накопитель	1	500	500
Калькулятор	1	300	300
Распечатка текста	200	1.7	340
Итого			1522

6.3.2. Полная заработная плата исполнителей ВКР

В этом разделе рассчитывается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя

из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Полная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата исполнителей рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_{\text{р}},$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}}$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$Z_{\text{р.к.}}$ – доплата с учетом районного коэффициента (30 %), руб.;

$F_{\text{д}}$ – количество рабочих дней в месяце (26 при 6 – дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 6.7.

Таблица 6.7– Расчёт основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Оклад, руб.	Районная доплата, руб.	Месячная зарплата, руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Кол-во дней	Основная заработная плата руб.
Руководитель	33664	10099	43763	1683	7	11782
Дипломник	12300	3690	15990	615	70	43050

Дополнительная заработная плата, составляет 12-15% от основной.

Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 6.8.

Таблица 6.8. – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, тыс. руб	Дополнительная заработная плата, тыс.руб.	Полная заработная плата, тыс.руб.
Руководитель	0,15	11,782	1,767	13,500
Дипломник	0,12	43,050	5,166	48,200
Итого		54,832	6,933	61,700

6.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды
 $k_{\text{внеб}} = 30,2\%$ в условиях ТПУ.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 61,7 = 18,6 \text{ тыс. руб.}$$

6.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: оплата услуг телефонной связи, интернет, транспортные расходы и т.д.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

6.3.5 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции. Определение сметы затрат на технический проект приведен в таблице 6.9

Таблица 6.9 – Смета технического проекта.

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
Материальные затраты ТП	1,5	1,5
Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	61,7	63,3
Отчисления во внебюджетные фонды	18,6	19,2
Накладные расходы	15,2	16,0
Итого	97,0	100,0

Исходя из представленной выше таблицы 1.9, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение технического проекта составляет 97,0 тыс.руб. Большая часть (63,3%) составляют затраты на заработную плату исполнителей.

6.4.Определение ресурсоэффективности проекта.

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности [24]:

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию электропривода винтового компрессора рекомендуется рассмотреть следующие критерии:

Надежность электропривода насосной установки подкачивающей насосной станции – это длительный эксплуатационный ресурс (в частности, в условиях

атмосферы с содержанием агрессивных реагентов, не стабильным напряжением и высокой влажностью).

Надежность повышает исполнение всех деталей оборудования во взрывозащищенном и влагостойком корпусе, электроснабжения обеспечивается дополнительным резервным питанием, что в свою очередь позволяет обеспечить безаварийность и бесперебойность в работе.

Энергосбережение электропривода винтового компрессора – это экономия электрической энергии. Энергосбережение достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей, использование частотно-регулируемого привода.

Материалоемкость электропривода винтового компрессора – это показатель расхода энергии для работы в номинальном режиме.

Удобство – это возможность лёгкой настройки, монтажа и демонтажа электропривода. Удобство монтажа и демонтажа осуществляется в отсутствие большого количества резьбовых соединений.

Производительности труда – это показатель, характеризующий результативность труда, обеспечивается в проекте благодаря автоматизации, но при этом капиталовложения возрастают. Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
Надежность	0,25	5
Энергосбережение	0,20	5
Материалоемкость	0,15	4
Производительность	0,15	4
Удобство	0,15	5
производительность труда пользователя	0,10	4
Итого:	1,00	4,6

Расчет интегрального показателя ресурсо-эффективности:

$$I_{pi}=5 \times 0,25+5 \times 0,2+4 \times 0,15+4 \times 0,15+5 \times 0,15+4 \times 0,1=4,6$$

С точки зрения коммерческого потенциала и перспективности разработки проекта отметим следующее:

Показатель ресурсо-эффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5 балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и энергосбережения позволяют судить о надежности системы. В данном разделе были рассмотрены и раскрыты следующие вопросы: - произведен SWOT-анализ, который выявил, приоритетные стороны этого проекта, указывающие на перспективность проекта в целом. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта. - составлена диаграмма продолжительности работ, позволяющая скоординировать работу исполнителей.

Расчитана смета затрат на выполнение технического проекта, которая составила 97,0 тыс.руб. - определен показатель ресурсоэффективности проекта, который имеет достаточно высокое значение – 4,6 (по 5- балльной шкале).

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Лещенко Андрей Викторович

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	Асинхронный частотно-регулируемый электропривод винтового компрессора.
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Объектом исследования является Асинхронный электропривод винтового компрессора в цеху газоперерабатывающего завода. Объект исследования применяется в различных отраслях промышленности для сжатия воздуха и подачи его под давлением.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	- Основные требования по обеспечению безопасной эксплуатации винтового компрессора - Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны, где установлены винтовые компрессоры - Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены. - Организация и охрана труда.
2. Производственная безопасность	Основными вредными факторами являются: - Механические колебаниями твердых тел и их поверхностей, (вибрация); - Акустические колебаниями в производственной среде(шум); - Факторы связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны). - Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата); Опасными факторами станции являются: Возможность получения травм в следствии: а) движения машин и механизмов; б) наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.
3. Экологическая безопасность:	-Анализ воздействия объекта на литосферу(отходы);
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	-Возможные ЧС - Пожар и взрыв - Аварии
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Лещенко Андрей Викторович		

6. Социальная ответственность

Введение.

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов при работе винтового компрессора, анализ пожарной безопасности и выработка мероприятий, направленных на предотвращение пожаров.

В данном проекте рассматривается асинхронный электропривод винтового компрессора. Преимуществом такого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока является обеспечение требуемой степени защиты. Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Степень защиты корпусов электродвигателей от попадания механических частиц и проникновения пыли. Это важно для рассматриваемого производства и требует степень защиты электрических машин не ниже IP54.[14].

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовые отношения на газоперерабатывающем заводе ОАО «Лукойл» регулируются «Трудовым кодексом Российской Федерации»[23], коллективным договором данного предприятия, приказами, инструкциями и иными локальными нормативными актами.

В соответствии с коллективным договором и правилами внутреннего распорядка рабочим считается время, в течение которого работник обязан находиться на рабочем месте и выполнять свои трудовые обязанности.

Для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, установлена сокращенная продолжительность рабочего времени, максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать: при 36-часовой рабочей неделе – 8 часов.

На предприятии организован непрерывный трудовой процесс в три смены[23]:

I смена — с 7 часов утра до 15 часов;

II смена — с 15 часов до 23 часов;

III смена — с 23 часов до 7 часов утра.

Учетным периодом при суммированном учете рабочего времени является календарный месяц. Ночной сменой при указанном режиме признается III смена, а вечерней — II смена.

Когда условия производства (работы) не позволяют предоставить обеденный перерыв, работодатель обязан обеспечить возможность отдохнуть и перекусить в течение рабочего времени (ч. 3 ст. 108 Трудового кодекса РФ). В данном случае работодатель организует прием пищи работниками на рабочих местах, продолжительность отдыха и питания длится не более 30 минут. Перечень таких работ, время начала и окончания, и место приема пищи определяются коллективным договором предприятия.

Ежегодный основной оплачиваемый отпуск продолжительность 28 календарных дней предоставляется работникам в соответствии со ст. 115 ТК РФ[23]. Людям, работающим по совместительству, ежегодные оплачиваемые отпуска предоставляются одновременно с отпуском по основной работе (ст. 286 Трудового кодекса РФ)[23]. Если на работе по совместительству работник не отработал 6 месяцев, отпуск предоставляется авансом. По соглашению между работником и работодателем ежегодный оплачиваемый отпуск может быть разделен на части. При этом хотя бы одна из частей этого отпуска должна быть не менее 14 календарных дней (ст. 125 Трудового кодекса РФ)[23].

На работах с вредными условиями труда, а также на работах, связанных с загрязнением, работникам выдается бесплатно по установленным нормам специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты. В соответствии со статьей 222 Трудового кодекса Российской Федерации на работах с вредными условиями труда предоставляется бесплатно по установленным нормам лечебно-профилактическое питание.

Помещение цеха где расположена площадка для ремонта и устранения неисправностей электродвигателей винтовых компрессоров, компрессорных

агрегатов, выполнено из несгораемых материалов первой степени огнестойкости. Здание цеха состоит из сборных железобетонных конструкций, которые относятся к несгораемым материалам первой степени огнестойкости и имеют предел огнестойкости R120 [18].

Напряжение питания 220 и 380В. Электроустановки до 1000 В. Обслуживание поручается лицам, имеющим квалификацию, соответствующую действующим требованиям.

6.2 Производственная безопасность

Табл.6.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).			+	Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-83-99 ССБТ [24] цеху обогащения –90дБ.
2.Акустические колебаниями в производственной среде(шум)			+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки; СП 51.13330.2011. Защита от шума. [20]
3. Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)			+	Требуемая норма освещения Енор=200 ЛК. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНИП 23-05-95[28].
4. Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата)			+	Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [15]: СанПиН 2.2.4.548-96
5.Получение травм в следствии Движение машин и механизмов			+	Требуемая норма(расстояние) от движущихся механизмов и машин 1м, согласно СНИП 10-01-93[33]. СТ СЭВ 790-77
6.Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.			+	[ГОСТ Р 52726-2007, пункт 3.16] Наличие высокого напряжения на рабочем месте, ГОСТ Р МЭК 536-94-Средства защиты от поражения эл.током.

6.2.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

Неблагоприятные условия окружающей среды вредно воздействуют на организм работающего, снижают реакцию, повышают утомляемость. К производственным вредным факторам на рассматриваемом производстве относятся:

Ø Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).

Вредным производственным фактором является вибрация (локальная) - механические колебания твердых тел, передаваемые организму человека. Источником вибрации является работа винтового компрессора. Колебания могут быть причиной расстройства сердечнососудистой и нервной системы, а также опорно-двигательной системы человека. Параметры вибрации регламентируются санитарными нормами и ГОСТом. Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-83-99 ССБТ [24] газоперерабатывающего завода ОАО “Лукойл” –90дБ.

Ø Акустические колебаниями в производственной среде(шум)

Опасности психологической группы связаны с шумом в обслуживании винтового компрессора, что приводит к снижению внимания, повышению травматизма. Источниками шума являются грохоты, давление в рабочем состоянии. В данном производстве шум достигает 75—80 дБ.

Ø Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)

Безопасность на производстве в значительной мере зависит от освещения. Свет влияет на физиологическое состояние человека, правильно организованное освещение стимулирует протекание процессов высшей нервной деятельности и повышает работоспособность. При недостаточном освещении человек работает менее продуктивно, быстро устает, растет вероятность ошибочных действий, что может привести к травматизму.

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы. В данном случае работы относятся к разряду IV Г [17]. Требуемая норма освещения $E_{нор}=200$ ЛК. Для создания $E_{нор}$ применяется совмещенное освещение: естественное и общее люминесцентное освещение.

Для создания рациональных условий освещения большое значение имеет тщательный и регулярный уход за установками естественного и искусственного освещения.

Ø **Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата)**

В основу нормирования микроклимата положены условия, при которых организм человека сохраняет нормальный тепловой баланс за счет определенных физиологических процессов (прилив крови к кожаному покрову, потоотделение и др.), благодаря которым осуществляется терморегуляция, обеспечивающая сохранение постоянной температуры тела путем теплового обмена с внешней средой. При несоблюдении норм микроклимата снижается работоспособность человека, возрастает опасность возникновения травм и ряда заболеваний, в том числе профессиональных.

Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [15]:

- температурой воздуха:

- в холодный период года $t=19-21^{\circ}\text{C}$;
- в тёплый период года $t=20-22^{\circ}\text{C}$;

- влажностью воздуха:

- в холодный период года 60-40 %;
- в тёплый период года 60-40%;

- скорость движения воздуха:

- в холодный период года 0,2 м/с;
- в тёплый период года 0,2 м/с.

6.2.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

Возможность получения травм в следствии:

А) Движения машин и механизмов

Основными причинами травмирования рабочих при эксплуатации винтового компрессора является: отсутствие ограждений у движущихся и вращающихся частей; ремонт и смазка винтового компрессора во время его работы;

включение винтового компрессора без предупреждения; некачественное крепление приводных и натяжных головок; нарушение производственной и технологической дисциплины (эксплуатация цепи с повышенным износом и т.п.).

Для исключения возможности получения травм в работе с винтовым компрессором допускаются лица, хорошо изучившие правила обслуживания и управления компрессором и прошедшие инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

Б) Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.

Основными причинами поражения человека электрическим током являются: удар электрическим током при использовании неисправных электроприборов; присоединение к незаземленным частям электроустановки (контакты, провода, зажимы и т.д.); Последствия при поражении электр.током- термические ожоги, потеря сознания, разрыв внутренних органов, костных тканей и смерть.

Виды электротравм: местные, когда возникает местное повреждение организма; общие, так называемый электрический удар, когда непосредственно нарушается весь организм, из-за нарушения нормальной деятельности жизненно важных органов и систем.

Местные электротравмы – это ярко выраженное местное нарушение целостности тканей тела, в том числе костных тканей, вызванное воздействием электрического тока или электрической дуги. Чаще всего это поверхностные повреждения, т. е. поражение кожи, а иногда и других мягких тканей, а также связок и костей. Опасность местных травм и сложность их лечения зависит от места, характера и степени повреждения тканей, реакции организма на это повреждение. Как правило, местные электротравмы излечиваются, и работоспособность пострадавшего восстанавливается полностью или частично. Смерть от местных электротравм - редкий случай (обычно при тяжелом ожоге человек погибает). Причиной смерти при этом является не ток, а местное повреждение организма, вызванное током. Характерные местные электротравмы.

электроожоги – 40 %

электрические знаки – 7 %

металлизация кожи – 3 %

механические повреждения – 0,5 %

Электроофтальмия – 1,5 %

Смешанные (ожоги + др. местные электротравмы) – 23 %

Элетроожог – самая распространенная электротравма. Возникает у 63 % пострадавших от электротока. 23 % (т.е. треть из них) сопровождается другими травмами. 85 % ожогов приходится на электромонтеров, обслуживающих действующие ЭУ.

6.2.3. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация)

Снижение неблагоприятного воздействия вибрации ручных механизированных устройств на операторов достигается как путем уменьшения интенсивности вибрации непосредственно в ее источнике (за счет конструктив-

ных усовершенствований), так и средствами внешней вибро защиты, которые представляют собой упругодемпфирующие материалы и устройства, размещенные между источником вибрации и руками оператора.

В качестве средств индивидуальной защиты работающих, используют специальную обувь на массивной резиновой подошве. Для защиты рук служат рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки, которые изготовляют из упругодемпфирующих материалов.

Акустические колебаниями в производственной среде(шум)

При превышении уровня шума в рабочей зоне от 80 дБА, наниматель должен провести оценку риска здоровью персонала и подтвердить приемлемый риск здоровью[20].

Если эквивалентный уровень шума – от 85 дБА, то работать нельзя [20]. Все оборудование, применяемое на участке обработки, для снижения шума установлено на виброопорах. Для защиты органов слуха применяют: наушники, антифоны, беруши.

Работы оператора по обслуживанию винтового компрессора относятся к категории средней тяжести 2а (физическая средней тяжести, энергозатраты до 200 ккал/ч) [15].

Факторы связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы. В данном случае работы относятся к разряду IV Г [17]. Требуемая норма освещения $E_{нор}=200$ ЛК. Для создания $E_{нор}$ применяется совмещенное освещение: естественное и общее люминесцентное освещение.

Для создания рациональных условий освещения большое значение имеет тщательный и регулярный уход за установками естественного и искусственного освещения.

Основными мероприятиями для защиты от поражения электрическим током являются: Организационные и Технические.

Организационные мероприятия включают в себя:

Правильный подбор персонала, обслуживающего электроустановки (запрещение использования труда лиц моложе 18 лет, а также не обученных и не прошедших медицинское освидетельствование для работы данного вида); обучение правилам безопасности при обслуживании электроустановок, т. е. проведение специального обучения для выполнения работ с повышенной опасностью, аттестации, инструктаж по безопасности труда, разработка и издание инструкций по охране труда, применение средств пропаганды правил электробезопасности (плакатов, видеофильмов и пр.);

назначение ответственных за электрохозяйство лиц;

контроль за правильностью устройства электропроводок и установкой электрооборудования в соответствии с ПУЭ;

проведение периодических осмотров, измерений и испытаний электрооборудования (в сухих помещениях — 1 раз в два года, в сырых — ежегодно, при этом сопротивление рабочей изоляции проводов, кабелей и электрооборудования в процессе эксплуатации не должно быть менее 0,5 и 2 М Ом для двойной или усиленной изоляции), а в случае несоответствия предъявляемым требованиям — его ремонта;

контроль за надежностью СИЗ от поражения электрическим током.

Технические мероприятия. К ним относят:

Применение устройств (предохранителей, отключающих реле и т. п.) защиты электроустановок и сетей от перегрузок, а также токов коротких замыканий;

защиту людей и животных от прикосновения к токоведущим частям оборудования посредством применения глухого ограждения высоковольтного оборудования и размещения его в отдельных зданиях, изоляции токоведущих частей электрооборудования, установки защитных ограждений, расположения электроприборов на недоступной для людей и животных (более 2 м) высоте;

защита от поражения электрическим током при переходе напряжения на металлические корпуса электроустановок; устройство защитного заземления; зануление электроустановок в сетях с глухо-заземленной нейтралью; применение защитного отключения; использование электрооборудования с малым (менее 42 В) напряжением; выравнивание потенциалов электрооборудования и земли в местах нахождения людей и животных; изоляция электроустановок и электродвигателей от корпусов рабочих машин; применение диэлектрических настилов и изолирующих площадок.

6.4 Экологическая безопасность

В процессе эксплуатации винтового компрессора образуются отходы производства: отходы чёрного металла, отработанные ртутные лампы, отработанные промышленные масла, бытовой мусор. Собственных мест хранения, захоронения отходов у ГЗ «Лукойл» нет. Все отходы предприятие передает различным организациям для дальнейшей утилизации. На предприятии разработан проект нормативов образования и лимитов размещения отходов на основании нормативных актов, действующих в сфере обращения с отходами. В соответствии с Законом РФ «Об охране окружающей среды» и другими законодательными документами, а также с целью поддержания экологического равновесия в районе на ГЗ «Лукойл» проводится экологический мониторинг.

Основные виды мониторинга:

- мониторинг загрязнения атмосферы - проводится на границе санитарно - защитной зоны предприятия;
- мониторинг сточных вод - проводится по безымянному ручью на входе его на промплощадку и при выходе с промплощадки.

Функции и обязанности по соблюдению норм в области охраны окружающей среды выполняет инженер по охране окружающей среды, действующий на основании «Положения о производственном контроле...» и Должностной инструкции инженера по охране окружающей среды.

6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Техногенные пожары и взрывы — это происшествия, которые вызваны хозяйственной деятельностью человека. В связи с насыщенностью сферы производства сложной техникой, такие чрезвычайные ситуации происходят все чаще, что вызывает большое беспокойство специалистов.

Техногенное происшествие содержащее угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению зданий, сооружений, оборудования и т.п. Травмы персонала полученные при аварии оборудования под высоким давлением воздуха в ресивере (разрушение механических частей компрессора).

Высокое давление в винтовом компрессоре (от 10 до 100 МПа)

Общий принцип нагнетания давления заключается в том, что засасывается воздух через впускной клапан, потом посредством изменения объема пространства внутри компрессора накопленный воздух сжимается до тех пор, пока не достигнет необходимого значения. Затем через выпускной коллектор сжатый газ поступает наружу для непосредственного проведения работы. В винтовом компрессоре при движении двух роторов с винтовыми зубьями воздух сжимается и отправляется в ресивер или же для эксплуатации.

В данном технологическом процессе может возникнуть пожар из-за короткого замыкания, вызывающих высокую температуру нагревания проводников, и разрушение механических частей оборудования под высоким давлением, что приводит к воспламенению изоляционного материала, разрушению механических частей, получению травм обслуживающего персонала.

На рабочем месте каждый электропривод оборудования должен быть оснащен защищенной аппаратурой. Должна быть предусмотрена блокировка и защита на случай короткого замыкания и перегрузок. Установлены системы предотвращения пожара и противопожарной защиты.

Предупреждение ЧС, готовность к ним и реагирование должны быть составной частью системы управления охраной труда в организации.

В соответствии с этим в каждой организации должны быть определены мероприятия по предупреждению аварийных ситуаций, обеспечению готовности к ним и реагированию.

Мероприятия должны:

- Гарантировать, что имеющаяся необходимая информация, оповещение и координация действий работников обеспечат защиту всех людей в случае аварийной ситуации в рабочей зоне;
- Предоставлять информацию соответствующим службам аварийного реагирования и обеспечивать их быстрое оповещение при аварии;
- Предусматривать оказание первой медицинской помощи, проведение противопожарных мероприятий и эвакуацию всех людей, находящихся в рабочей зоне;
- Предоставлять соответствующую информацию и возможность подготовки всех работников, включая проведение регулярных тренировок по предупреждению аварийных ситуаций, обеспечению готовности к ним и реагированию

6.5.1 Защита электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок;

Защита электрооборудования и электрических сетей от токов короткого замыкания и значительных по величине и продолжительных перегрузок осуществляется предохранителями с плавкими вставками и автоматическими выключателями. При выборе аппаратов защиты должны быть соблюдены следующие условия:

- номинальное напряжение предохранителя должно быть равно или больше номинального напряжения сети
- плавкая вставка предохранителя не должна плавиться при расчетном токе
- плавкая вставка не должна расплавляться при пиковых токах

6.5.2 . Воспламенения изоляции в следствии повышения температуры

С физической точки зрения, источниками загорания, проявляющимися при описанных аварийных электрических режимах, являются:

- а) сильное тепловыделение при прохождении тока. Это может происходить по причине несоответствия величины протекающего тока и сечения проводника – либо за счет того, что ток слишком велик для данного штатного проводника (перегрузка) или микроканала, по которому проходит ток утечки (нагрев при не полном коротком замыкании
- б) искры, возникающие при больших переходных сопротивлениях, а также работе коммутационных устройств другого искрящего «электрооборудования»;
- в) макродуги, возникающие при коротком замыкании;
- г) раскаленные частицы и капли расплавленного металла, образующиеся при коротком замыкании

При анализе версий обычно учитывают, что источники зажигания как правило проявляют себя не поодиночке, а в комплексе. И при коротком замыкании, и при перегрузке, и больших переходных сопротивлениях часто имеет место сочетания последовательно или параллельно протекающих физических процессов и в каждом из них в ходе развития может проявиться несколько указанных факторов:

- при металлическом коротком замыкании – электрическая дуга с присущими «опасными факторами», но, плюс к этому, может проявиться и перегрузка за счет прохождения по электрической цепи тока короткого замыкания
- при неметаллическом коротком замыкании – утечка тока, нагрев изоляции, и ее карбонизация, разложение (если она представляет собой органический материал), но, в конечном счете, дело может закончиться пробоем и электрической дугой, опять же, с присущими ей «опасными факторами» и характерными следами (дуговыми оплавлениями)

- при перегрузке – нагрев проводников на протяженном участке и более сильный – в локальных зонах БПС. Если последние присутствуют в электрической цепи, то горение при перегрузке, скорее всего, возникнет в зоне их нахождения, если там имеются соответствующие горючие материалы. Если нет, то изоляция перегруженного провода может загореться в любом другом месте. Закончиться же все может, как и в предыдущих случаях, электрической дугой и дуговыми оплавлениями.

6.5.3. Защита от высокого давления в ресивере

Для защиты от взрыва ресивера от высокого давления. Необходимо соблюдение правила монтажа винтового компрессора и ресивера, но полностью исключить его только правильно спроектированными системами не получится. Для избегания такой неприятной ситуации необходим комплексный подход и соблюдение правил безопасности и технических инструкций.

Значительно снизить вероятность возникновения высокого давления в ресивере,

- Следить за работой компрессора и показаниями приборов, контролировать исправность работы всех его механизмов.
- Следить за давлением в пневмосистеме компрессора.
- Не допускать в пневмосистеме компрессора давления, величина которого превышает паспортные данные.

Заключение

В данном разделе был проведен анализ опасных и вредных факторов, возникающих в процессе эксплуатации асинхронного электропривода винтового компрессора. Освещены вопросы техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности. Также рассмотрены вопросы экологической безопасности, составлены меры и действия, проводимые работниками, во время возникновения аварийной ситуации.

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 $f = 5 \text{ Гц}$ 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.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен технический проект и решены следующие задачи:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства участка путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

CONCLUSION

In this final qualification work the adjustable electric drive of the screw FINI BSC 20 compressor on the basis of the asynchronous engine with a short-circuited rotor has been developed and investigated. During work electromechanical and mechanical characteristics of the electric drive and loading on the basis of which has been carried out pro-beliefs of correctness of the choice of the engine and converter are calculated and constructed. By imitating modeling all main operating modes are investigated: start-up on the minimum and maximum speed, dumping and набор loadings, a stop.

The received results of imitating researches prove that the frequency and adjustable asynchronous electric drive of the compressor under "ventilatory" loading at scalar management with the law of management and correction of volts - the frequency characteristic in compliance with (4.3) provides launch of the electric drive from initial frequency and the required range of regulation of speed of the compressor. Transition processes in the drive proceed smoothly with restriction of the dynamic moment, currents of the engine and converter. Time of launch of the electric drive is defined and can be changed by the choice of value of a constant of time of the control point adjustment of speed.

The designed electric drive completely answers specification conditions.

Список использованных источников.

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-moshnost-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: Будивэльник, 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. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Техничко-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.
24. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-воэкон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.: Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО "НПО "Изд-во "Экономика", 2000.
25. СН 2.2.4/2.1.8562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
26. 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. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
29. ГОСТ 12.4.125-83. ССБТ. Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов. Классификация.
30. Правила устройства электроустановок. 6-ое изд. с изм. и дополн. – СПб.: ДЕАН, 1999. – 320 с.
31. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывоопасной и пожарной опасности.
32. Федосова В.Д. Расчет искусственного освещения. Метод. указания. – Томск: Изд-во ТПУ, 1991. – 23с.