

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Асинхронный электропривод вентилятора

УДК 62-83-523:621.63

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Лебедев Денис Андреевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В.	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:

Руководитель ООП

_____ А.С. Ивашутенко

(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
3-5Г4А1	Лебедеву Денису Андреевичу

Тема работы:

Асинхронный электропривод шахтного вентилятора	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3488/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 документации
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; общие вопросы шахтной вентиляции, краткий обзор основных видов и конструкций шахтных вентиляторов; общие сведения об электроприводе; общие принципы регулирования электропривода, расчет параметров и выбор элементов электропривода шахтного вентилятора; функциональная схема электропривода; разработка и исследование математической модели электропривода социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.

Перечень графического материала	<ul style="list-style-type: none"> - схема кинематическая; - схема электрическая принципиальная; - схема электрическая функциональная; - схема электрическая структурная; - демонстрационный лист; - технико-экономические показатели;
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 быть 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	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В.	к.т.н.		05.04.2019г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Лебедев Денис Андреевич		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:	30.05.2019г.
--	--------------

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 ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

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

Реферат

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование частотно-регулируемого электропривода шахтного вентилятора местного проветривания для проветривания тупиковых горных выработок в угольных и рудных шахтах с номинальной подачей 10 м^3 и предельным давлением 2500 Па .

Ключевые слова: Электропривод, вентилятор, преобразователь частоты, моделирование, электромеханические и механические характеристики, переходный процесс, энергосбережение.

В данной работе были рассмотрены общие вопросы шахтной вентиляции, приведены основные типы шахтных вентиляторов и требования к ним. В работе произведен расчёт и исследование электропривода вентилятора. Смоделированы и исследованы переходные процессы регулируемого электропривода в среде Matlab Simulink; определена ресурсная (ресурсосберегающая) эффективность проекта. Пояснительная записка ВКР выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word , также использовались программы MathCad 13, Matlab.

Содержание

Введение	9
1. ШАХТНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ	12
1.1 Общие сведения о вентиляции.....	12
1.2 Вентиляция в шахтах	14
1.3 Типы и требования к шахтным вентиляторам	19
2. ЭЛЕКТРОПРИВОД ВЕНТИЛЯТОРОВ	26
2.1. Способы управления воздушным потоком.....	26
2.2. Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя	28
2.2.1. Частотное регулирование	29
2.3. Функциональная схема ЭП вентилятора.....	31
3. ВЫБОР И РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	33
3.1. Вентилятор осевой шахтный ВМЭ-8.....	33
3.2 Выбор и определение параметров электродвигателя	36
3.2.1. Электромеханические и механические характеристики асинхронного двигателя ВРМ 200L2У2,5.....	43
3.2.2. Исследование модели асинхронного двигателя с вентиляторной нагрузкой. 47	
3.2.3. Математическое описание, структурные схемы и моделирование обобщенной асинхронной машины.....	49
3.2.4. Моделирование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат с вентиляторной нагрузкой.	54
4 ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	57
4.1. Выбор преобразователя частоты.....	57
4.2. ВЫБОР ЗАКОНА ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ.....	61
4.2.1. Механические характеристики системы преобразователь – двигатель при законе $U1f12 = const.$	62
4.2.2. Имитационная модель асинхронного двигателя.	66
4.2.3. Структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат и вентиляторной нагрузки при настройке вольт – частотной характеристики.....	69
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ».....	72

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	73
5.1 Swot-анализ по разработке проекта асинхронного электропривода шахтного вентилятора.	73
5.2 Планирование технического проекта.....	77
5.2.1. Определение структуры работ в рамках технического проектирования.....	77
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	78
5.3 Составление сметы технического проекта	81
5.3.1 Затраты на специализированное оборудование.....	81
5.3.2 Полная заработная плата исполнителей ВКР	82
5.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	83
5.3.4 Накладные расходы.....	84
5.3.5 Формирование сметы технического проекта.....	84
5.4. Определение ресурсоэффективности проекта.....	85
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	89
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	90
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	91
6.2 Производственная безопасность.....	93
6.2.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.	93
6.2.2 Анализ выявленных опасных факторов.	100
6.3 Экологическая безопасность.....	105
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	106
Заключение.....	108
Conclusion	109
Список литературы.....	110
ПРИЛОЖЕНИЕ А	112

Введение

Доля энергозатрат в себестоимости продукции и сфере услуг в России составляет до 20–30%, что значительно выше, чем в странах с развитой рыночной экономикой. Одной из основных причин такого положения являются применяемые энергорасточительные технологии, оборудование и приборы. По оценкам экспертов, внедрение энергосберегающих технологий и оборудования способствует снижению потребностей в энергоресурсах не менее чем на 30–40%. Мировая и отечественная инженерная практика показала, что наибольший экономический эффект при реализации программ энергосбережения дает переоснащение энергетических сетей и коммуникаций устройствами регулируемого электропривода.

По оценке специалистов, в целом по стране внедрение регулируемого электропривода в энергетике, промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве и других отраслях может обеспечить ежегодную экономию **35–40** млрд. кВт·ч. электроэнергии, что эквивалентно годовой выработке **30** энергоблоков мощностью по 300 МВт каждый.

В промышленно развитых странах (и в России тоже) около 2/3 всего объема потребляемой электроэнергии используется для механической работы, выполняемой электроприводом. Наиболее широко в отраслях промышленности и коммунального хозяйства используются электроприводы на базе асинхронных электродвигателей. На их долю приходится 55–60% всей потребляемой энергии.

На сегодняшний день угольная промышленность России, в процессе идущих преобразований имеет устойчивую тенденцию к повышению эффективности производства, а уровень добычи угля соответствует потребностям страны. Только за последние 5 – 6 лет отмечается существенный рост добычи угля и постепенное развитие и модернизация технического оснащения угледобывающих предприятий. Нельзя сказать, что техническое переоснащение шахт в корне изменилось, базовые модели оборудования 60-х годов довольно четко просматриваются в современных

конструкциях взрывозащищенного оборудования. большей частью это связано со взрывозащищенным оборудованием, относящимся к типу «ExdI» – «взрывонепроницаемая оболочка». Фактические величины конструкции взрывонепроницаемой оболочки остаются неизменными уже более полувека. Однако, за счет улучшения технологических процессов производства, применения новых материалов и оборудования удается получить более надежное и качественное оборудование.

В горнодобывающей промышленности первостепенным требованием является безопасность. Первопричиной этого требования служит наличие в угольных пластах сопутствующего газа – метана. Взрывоопасная концентрация метана в воздухе составляет 3%. В условиях шахты, в отсутствии естественной циркуляции воздуха, взрывоопасная концентрация метана в воздухе существенно превышает допустимый уровень взрывобезопасности.

Основным способом достижения взрывобезопасности в шахтах и горных выработках, опасных по газу и пыли, служит поддержание атмосферы под землей на уровне менее 1-го % содержания метана, путем искусственного нагнетательного проветривания. Исторически сложилось, во времена Министерства угольной промышленности и Госплана, было принято обозначение вентиляторов местного проветривания – ВМЭ. В начале выработки угольного пласта величина длин и сечения ветвей вентиляции малы. Поэтому параметры применяемых в этом случае вентиляторов местного проветривания невелики. Нет необходимости в большой подаче и давлении воздуха. По мере выработки угольного пласта длины и сечения ветвей вентиляции увеличиваются. Все это ведет к необходимости увеличения объема подачи и давления воздуха в вентиляционную систему в целом, и в каждую отдельно взятую ее ветвь. В связи с этим в основном вентиляционном туннеле производят замену вентиляторов местного проветривания более мощными. Оценивая в целом этапы прохождения выработки от начала и до завершения видно, что необходимо поэтапное применение все более мощных,

а следовательно, и более дорогих вентиляторов. Плюс, необходимость в монтаже или демонтаже и в пусконаладочных работах, являющихся в условиях шахты весьма затруднительными. Как правило, в шахтах, при необходимости замены вентилятора на более мощный, устанавливают вентилятор, имеющий большие, по сравнению с требуемыми, на тот момент, параметры давления и подачи. А это и больший расход электроэнергии, и ухудшение условий работы людей в забое.

Анализируя все эти факторы, тормозящие добычу угля и делающие ее более затратной по себестоимости, приходим к выводу о необходимости разработки регулируемого энергосберегающего осевого вентилятора местного проветривания, способного функционально обеспечить необходимые давление и подачу воздуха в забой на всем его продвижении.

1. ШАХТНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

1.1 Общие сведения о вентиляции

Слово вентиляция в переводе с латинского языка означает «проветривание». Поддерживать в помещении определенный состав и состояние воздуха, а также обеспечивать условия необходимые для комфортного проживания людей и успешного протекания технологических процессов, должна вентиляция. Вентиляция – естественный или искусственный регулируемый воздухообмен в помещениях, обеспечивающий создание в помещении воздушной среды в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями.

Воздухообменом называется частичная или полная замена воздуха, содержащего вредности, чистым атмосферным воздухом. Для определения требуемого воздухообмена должны быть известны следующие исходные данные: количество выделяемых вредностей (тепла, влаги, газов и паров, пыли и т. д.) в течение определенного периода времени, например за 1 час; допустимое количество вредностей в определенном объеме воздуха,

например в 1 м^3 воздуха помещения; количество вредных, содержащихся в определенном объеме, например в 1 м^3 , подаваемого в помещение воздуха.

Для жилых и общественных зданий определить воздухообмен, исходя из содержания в воздухе углекислого газа CO_2 , не трудно, поскольку известно число людей, пребывающих в помещении. Значительно сложнее определить воздухообмен по газовой вредности для производственных помещений, так как количество выделяющихся в них газов зависит от технологического процесса, характера производственного оборудования и степени его герметизации. Для определения количества газовой вредности пользуются теоретическими расчетами или проверенными экспериментальными данными, в некоторых случаях приходится ставить для этого специальные опыты.

В отличие от жилых и общественных зданий в производственных зданиях источники, выделяющие и поглощающие тепло весьма разнообразны. Это вызывает необходимость составлять по производственным помещениям тепловые балансы, т. е. выявлять все виды поступления и расхода тепла.

Рассмотрим основные источники поступления и расхода тепла:

- тепла, выделяемого людьми;
- тепла, выделяемого лампами и осветительными приборами, электробытовыми приборами: холодильниками, плитами и т. д.;
- тепла, выделяемого работающими приборами и оборудованием: компьютерами, печатающими устройствами, фотокопировальной техникой и пр.

В производственных помещениях дополнительными источниками тепловыделений могут быть:

- нагретое производственное оборудование;
- тепловыделения от работающего оборудования;
- горячие материалы и полуфабрикаты;
- продукты сгорания и химических реакций.

При разработке системы вентиляции в первую определяют ее тип. Классификация типов вентиляционных систем производится на основе следующих основных признаков :

По способу перемещения воздуха: естественная или искусственная система вентиляции.

По назначению: приточная или вытяжная система вентиляции.

По зоне обслуживания: местная или общеобменная система вентиляции

По конструкции: наборная или моноблочная система вентиляции.

1.2 Вентиляция в шахтах

Вентиляционные сети шахт представляют собой совокупность большого количества подземных выработок, отличающихся разнообразием параметров, влияющих на аэродинамику этих сетей. Эти параметры постоянно меняются, следовательно, меняется и аэродинамика сетей.

Выработки могут иметь различную форму поперечного сечения, величина этого сечения колеблется в пределах от 3,0...4,0 до 30,0...40,0 м². В больших пределах колеблется и длина выработок, доходя иногда до нескольких тысяч метров.

Степень шероховатости стенок выработок, влияющая на величину аэродинамического сопротивления, зависит от типа и размеров крепи выработок и тоже меняется в широких пределах.

Потребители воздуха в шахте отличаются большим разнообразием, как по количеству необходимого воздуха, так и по времени его подачи. В качестве потребителя может фигурировать отдельная выработка, так и вся шахта или значительная ее часть.

Эти обстоятельства привели к необходимости создания группы специализированных шахтных вентиляторов, отвечающих по своим параметрам запросам горной отрасли.

Вентилятором называется механическая установка, создающая разность давлений на входе в вентиляционную сеть и выходе из нее.

Основное отличие шахтных вентиляторов от вентиляторов, применяющихся в других отраслях промышленности – большая производительность при довольно высоких параметрах по давлению. Производительность этих вентиляторов может достигать до 500...600 м³/с, величина разности давления, создаваемая шахтными вентиляторами, ограничивается значением 0,5...10,0 кПа. Степень сжатия воздуха вентилятором – 1,1. Это позволяет считать воздух несжимаемым в расчетах, связанных с работой вентилятора.

По своему назначению шахтные вентиляторы условно подразделяются на три группы:

- главные вентиляторы, обслуживающие вентиляционную сеть всей шахты или большей ее части (рисунок 1);
- вспомогательные вентиляторы, обслуживающие значительную часть вентиляционной сети шахты или работающие совместно с главным;
- вентиляторы местного проветривания (ВМП), обеспечивающие воздухом отдельный забой, выработку или рабочее место.

В качестве главных и вспомогательных могут применяться одни и те же вентиляторы значительных размеров. ВМП составляют отдельную группу вентиляторов, отличающихся небольшими размерами, малой мощностью привода и, как правило, небольшой производительностью [2].



Рисунок 1 – Вентилятор главного проветривания ВОД30М2

1.1. Требования по проветриванию подземных выработок

Содержание кислорода в воздухе выработок, в которых находятся или могут находиться люди, должно составлять не менее 20 % (по объему). Содержание углекислого газа в рудничном воздухе не должно превышать на рабочих местах 0,5 %, в выработках с общей исходящей струей шахты – 0,75 %, а при проведении и восстановлении выработок по завалу – 1 %. Суммарное содержание горючих газов метана и водорода в выработках не должно превышать 0,5 % по объему (10 % – нижней концентрации предела взрываемости) (далее – НКПР) [3].

Воздух в действующих подземных выработках не должен содержать ядовитых газов (паров) больше предельно допустимой концентрации, указанной в таблице 1.

Таблица 1 – Предельно допустимые концентрации газов (ядов).

Наименование ядовитых газов (паров)	Формула	ПДК газа	
		% по объему	мг / м ³
Окись углерода (оксид углерода)	СО	0,0017	20
Окислы азота (оксиды азота) в пересчете на NO	NO ₂	0,00026	5

Сернистый газ (диоксид серы, сернистый ангидрид)	SO ₂	0,00038	10
Сероводород	H ₂ S	0,00071	10
Акролеин	C ₃ H ₄ O	0,000009	0,2
Формальдегид	CH ₂ O	0,00004	0,5
Ртуть металлическая	Hg	—	0,01

Примечание. 1 м³ принимается эквивалентным 2 м³ метана.

Организация проветривания и количество воздуха, необходимого для проветривания отдельных выработок и шахт в целом, должны определяться для каждого месторождения по специальным методикам, согласованных с Госгортехнадзором России или, по его разрешению, с территориальными органами.

Все шахты должны иметь искусственную вентиляцию. Проветривание подземных горных выработок только за счет естественной тяги не допускается.

Все выработки должны проветриваться активной струей воздуха, за исключением тупиков, длиной до 10 м, проветриваемых за счет диффузии.

Вентиляционные устройства должны обеспечивать максимальную герметичность при любых режимах проветривания. Их конструкция должна исключать возможность разгерметизации и короткого замыкания вентиляционных струй. В выработках, соединяющих воздухоподающие и вентиляционные стволы, должны устанавливаться каменные, бетонные или другие перемычки, выполненные из негорючих материалов. Запрещается применять горючие материалы при сооружении кроссингов.

Подземные выработки должны проветриваться только непрерывно действующими вентиляторами главного проветривания и вспомогательными вентиляторами главного проветривания, установленными на поверхности или по проекту, согласованному с Госгортехнадзором России, под землей.

Вентиляторная установка для проветривания при проходке ствола должна быть установлена на поверхности на расстоянии не менее 15 м от ствола. Порядок проветривания определяется проектом организации работ.

Способ проветривания шахт может быть нагнетательным, всасывающим или нагнетательно – всасывающим.

Главные вентиляторные установки должны состоять из двух самостоятельных вентиляторных агрегатов, причем один из них резервный. Вентиляторы для новых и реконструируемых установок должен быть одного типа и размера.

Главные и вспомогательные вентиляторные установки главного проветривания должны осматриваться ежедневно работниками, назначенными главным механиком шахты; еженедельно главным механиком и начальником пылевентиляционной службы шахты.

Установка вентиляторов местного проветривания (ВМП) в тупиковых выработках при любом угле наклона выработки должна производиться по проекту, утвержденному главным инженером шахты. При этом производительность ВМП не должна превышать 70 % количества воздуха, подаваемого к его всосу за счет общешахтной депрессии; ВМП должен устанавливаться на расстоянии не менее 10 м от выхода исходящей струи, а расстояние от конца нагнетательного трубопровода до забоя или до пульта управления комбайном (при проходе выработок комбайнами) не должно превышать 10 м.

При проходке восстающих выработок запрещается отставание вентиляционного трубопровода от забоя свыше 6 м.

При проходке восстающих с использованием механизированных комплексов и проветривании забоя воздушно – водяной смесью должно быть обеспечено удаление исходящей струи из забоя с помощью отсасывающего вентилятора местного проветривания.

Результаты отбора проб воздуха в проходческих и очистных забоях ежемесячно фиксируются в журнале и заверяются подписью лица технического надзора.

По согласованию с территориальными органами Госгортехнадзора России допускается установка ВМП в тупиковой части выработки или рассредоточение вентиляторов по ее длине.

На каждой шахте должны быть в наличии вентиляционные планы, разработанные в установленном порядке.

Ежемесячно должны производиться:

- замеры количества воздуха, поступающего по горизонтам, крыльям, залежам, блокам, участкам, панелям и т.д., с сопоставлением замерных и расчетных величин; кроме того, замеры должны производиться при каждом значительном изменении режимов проветривания;
- отбор проб на определение качественного состава воздуха во всех рабочих зонах, связанных с нарушением сплошности массива;

1.3 Типы и требования к шахтным вентиляторам

Все выпускающиеся для горной отрасли вентиляторы относятся по конструкции к так называемым «лопастным нагнетателям». В вентиляторах этого типа энергия вращающегося ротора преобразовывается в потенциальную и кинетическую, в свою очередь, сообщаемые перемещаемому воздуху.

Лопастные вентиляторы в соответствии с характером движения воздуха в них и формы ротора (рабочего колеса) подразделяются на осевые (рисунок 2) и радиальные, последние более известны как центробежные (рисунок 3).

Достоинства осевых вентиляторов:

- относительная простота конструкции;
- простота монтажа, меньшая площадь под установку;

- простота реверса воздушной струи (большинство современных осевых вентиляторов вообще не нуждаются в устройстве реверсивных каналов);
- относительно высокая производительность;
- более высокий коэффициент полезного действия;
- удобство применения вентиляторов этого типа в качестве передвижных ВМП.



Рисунок 2 – Вентилятор ВМЭ – 6 осевого типа

Достоинства центробежных вентиляторов:

- высокая механическая надежность и большой срок службы, связанные с применением более низких скоростей вращения рабочего колеса;
- высокая устойчивость и надежность рабочих режимов, связанные с видом характеристик этих вентиляторов;
- меньшая шумность при работе;
- относительно высокая депрессия;
- большая глубина регулирования;
- меньшая чувствительность к загрязненному воздуху.



Рисунок 3 – Вентилятор центробежный ВЦ-15

Основным способом проветривания тупиковых выработок является нагнетательный. К достоинствам данного способа проветривания следует отнести то, что проветривание призабойного пространства осуществляется деиальной струей свежего воздуха, выходящего из трубопровода с большой скоростью. Причем, через ВМП будет поступать свежий воздух, а утечки его через стенки воздухопровода будут обеспечивать разбавление метана, выделяющегося с обнаженных поверхностей в выработке. Следует отметить, что при протяженности существующих выработок до 2000 м существует необходимость контроля утечек воздуха, так как визуальный контроль за состоянием трубопровода затруднен [2].



Рисунок 4 – Полный типоразмерный ряд ВМП

При проветривании тупиковых выработок с помощью ВМП они должны работать непрерывно – это распространяется на газовые и негазовые шахты. Для предупреждения повторного засасывания с помощью ВМП

исходящего из тупиковой выработки воздуха (режим рециркуляции) и предотвращения накапливания в ней метана (загаживания) вентиляторы устанавливают в выработке, проветриваемой общешахтным вентилятором, не ближе 10 метров от устья проходимой тупиковой выработки. При этом подача ВМП не должна превышать 70 % расхода воздуха в выработке в месте его установки, что обеспечит подсвежение исходящего потока воздуха из тупиковой выработки по участку выработки между ВМП и устьем тупиковой выработки при средней скорости движения воздуха не менее 0,15 м/с. Для повышения надежности проветривания тупиковых выработок наряду с действующим устанавливается резервный ВМП с резервным питанием. Выполнение этих требований обеспечит безопасную работу ВМП.

Вентилятор ВМЭ-12А

Вентилятор осевой регулируемый ВМЭ-12А (рисунок 5) предназначен для проветривания горизонтальных и наклонных тупиковых горных выработок и вертикальных стволов диаметром до 6м. Применяется также при проходке тоннелей и штолен. Взрывобезопасное исполнение этих вентиляторов (РВ) обеспечивает возможность эксплуатации их в шахтах, опасных по газу и пыли. Рассчитан на работу с жесткими (металлическими) воздуховодами диаметром 1000...1200мм.



Рисунок 5 – Вентилятор ВМЭ -12 А

Отличительные особенности:

- современная аэродинамическая схема с меридиональным ускорением потока, обеспечивающая более высокий КПД и экономичность работы;
- противосрывное устройство, которое устраняет помпажные режимы работы, расширяет область промышленного использования вентилятора и обеспечивает высокую надежность;
- простое и надежное регулирование режимов работы сменными венцами рабочего колеса;
- облегченное рабочее колесо, увеличивающее долговечность и надежность работы двигателя и вентилятора;
- оригинальное крепление сменных венцов поворотными клиновыми зажимами, исключая резьбовые детали, которые подвержены коррозии;
- безопасность работы, легкость обслуживания и доступа ко всем частям вентилятора;
- низкий уровень шума благодаря применению оригинального спрямляющего аппарата;
- удобство транспортировки по выработкам на салазках.

Параметры вентилятора ВМЭ-12 А приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры вентилятора ВМЭ-12 А

Номинальный диаметр рабочего колеса, мм	1200
Номинальная подача, м ³ /с	21
Подача в пределах рабочей области, м ³ /с:	
- минимальная	10
- максимальная	30
Номинальное полное давление, Па	2600
Полное давление в пределах рабочей области, Па:	
- минимальное	800

- максимальное	2000
Максимальный полный КПД, не менее	0,72
Частота вращения, мин -1	1480
Мощность электропривода, кВт	1100
Габаритные размеры, мм:	
- длина	2280
- ширина	1350
- высота	1750
Масса вентилятора, кг, не более	2200

Вентилятор ВМЭ2-10

Вентилятор ВМЭ2-10 (рисунок 6) предназначен для нагнетательного проветривания подземных тупиковых выработок по гибким или жестким вентиляционным трубопроводам в шахтах, опасных по газу и пыли, а также для проветривания туннелей. Обеспечивает эффективное проветривание выработок сечением до 20м², протяженностью до 2000м.



Рисунок 6 – Вентилятор ВМЭ2-10

Конструкция осевого рабочего колеса с меридиональным ускорением потока в сочетании с противосрывным устройством обеспечивает высокие аэродинамические показатели вентилятора: устойчивую напорную характеристику в широком диапазоне подачи воздуха, высокий КПД при хороших шумовых характеристиках.

Вентилятор снабжен двумя рабочими колесами, закрепленными консольно на роторе электродвигателя, оснащен глушителем шума.

Параметры вентилятора ВМЭ2-10 приведены в табл. 1.3.

Таблица 3 – Параметры вентилятора ВМЭ2-10

Диаметр рабочего колеса, мм	1000
Номинальная полезная гидромощность, кВт	72
Номинальная подача, м ³ с ⁻¹	15
Номинальное полное давление, даПа	480
Максимальный полный КПД	0,7
Частота вращения, мин ⁻¹	1500
Мощность электропривода, кВт	110
Габаритные размеры, мм:	
- ширина	1200
- высота	1500
Масса, кг	2000

Вентилятор ВМЭВО – 7.1 А

Вентилятор шахтный местного проветривания ВМЭВО – 7.1 А (рисунок 7) осевой со встроенным взрывозащищенным электродвигателем предназначен для проветривания тупиковых горных выработок в угольных и рудных шахтах, включая опасные по газу и пыли, посредством подачи воздуха по гибкому или жесткому трубопроводу, главным образом, диаметром 1,0м и длиной до 2500м, а также может быть использован для трубопроводов 0,8м при длинах до 1500м. Применяется также при проходке тоннелей и штолен .



Рисунок 7 – Вентилятор ВМЭВО-7.1 А

Таблица 4 – Параметры вентилятора ВМЭВО-7.1 А

Диаметр рабочего колеса, мм	710
Номинальная полезная гидромощность, кВт	72
Номинальная подача, м ³ с	11
Номинальное полное давление, даПа	3900
Максимальный полный КПД	0,79
Частота вращения, мин ⁻¹	2950
Мощность электропривода, кВт	55
Габаритные размеры, мм:	
- ширина	980
- высота	1120
Масса, кг	750

2. ЭЛЕКТРОПРИВОД ВЕНТИЛЯТОРОВ

2.1. Способы управления воздушным потоком

Специфика горного предприятия предполагает постоянное изменение его параметров аэрологического характера. На нормально работающей шахте постоянно меняется число очистных и проходческих забоев, отрабатываются вскрытые и вскрываются новые пласты и рудные тела, изменяется глубина разработок, изменяется газообильность выработок (чаще всего в сторону увеличения), изменяется технология и другие параметры. Все это приводит к необходимости изменения количества воздуха, поступающего в шахту. Последнее, несомненно, вызывает необходимость изменения производительности вентилятора, т.е. к регулировке его режима. Необходимость в регулировании вентилятора может возникнуть при кардинальном изменении исходных параметров, связанном с появлением на шахте новых горизонтов, новых участков или воздействии других важных факторов – такие изменения происходят на предприятии не часто и, как

правило, успешно прогнозируются. Сезонные изменения режимов вентилятора чаще всего возникают в связи с необходимостью компенсации изменений естественной тяги. Текущие регулировки режимов вентилятора предусматривают необходимость регулирования в связи с проведением некоторых технологических процессов (взрывные работы, перегон машин с ДВС, сбой в схеме вентиляции шахты и т.п.). Наилучшим вариантом текущего регулирования является полная автоматизация системы вентиляции горного предприятия.

В условиях эксплуатации часто требуется, чтобы установка обеспечивала такой диапазон режимов работы, который невозможно получить с помощью характеристики, соответствующей фиксированным углам установки лопастей вентилятора и принятой частоте вращения рабочего колеса. В этих условиях выполняется регулирование вентилятора одним из следующих способов:

- изменение частоты вращения лопастного колеса;
- поворот лопастей рабочего колеса;
- поворот лопаток входного направляющего аппарата;
- дросселирование.

Последний способ регулирования, самый неэкономичный, так как затраты мощности мало изменяются при уменьшении подачи.

Применение способа регулирования поворотом лопастей рабочего колеса определяется двумя факторами: безопасностью работы и экономичностью (при параллельном включении учитывается также устойчивость работы).

Вентиляторы с поворотными лопастями колес обладают способностью значительной (до 50%) регулировки подачи, с сохранением при этом оптимального значения КПД. Однако при этом способе регулирования требуется вентилятор особой конструкции, позволяющей изменять в известных пределах угол установки лопастей его рабочего колеса. Практически изменение угла поворота происходит в диапазоне от 15 до 45°.

Регулирование поворотом лопаток направляющего аппарата является довольно эффективным способом регулирования, так как при этом достигается значительное изменение потребляемой вентилятором мощности. Этим пользуются при запуске в работу больших вентиляторов. Однако нужно отметить, что применение этого способа регулирования оправдано только при достаточно больших углах установки лопастей рабочего колеса (более 30°). При малых углах установки изменение характеристик давления нагнетателей незначительно и эффект регулирования подачи резко снижается.

Регулирование поворотом лопаток спрямляющего аппарата (СА) не рекомендуется, так как оно сводится к простому дросселированию и не влияет на мощность нагнетателя.

Дросселирование — широко распространен, но самый неэкономичный способ регулирования вентиляторов, заключающийся в искусственном введении в сеть дополнительного сопротивления (шибера или др.). При этом сопротивление сети увеличивается, поэтому характеристика ее становится более крутой и рабочая точка вентилятора передвигается из положения А по характеристике вентилятора влево вверх, определяя новые значения параметров — положения Б и В и т.д. Дросселирование уменьшает мощность на валу электродвигателя и вместе с тем повышает долю энергии, расходуемой при регулировании вентиляторов (бесполезные потери давления на шибере АРт). Чем глубже процесс регулирования вентиляторов, тем более непроизводительна затрата мощности.

Не всегда удается добиться необходимого диапазона регулирования за счет применения исключительно механических мер — изменением угла наклона лопаток или количеством лопаток. В таких случаях применение преобразователей частоты помогает снизить затраты не только на электроэнергию, но и на обслуживание механического оборудования [7].

2.2. Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя

Рассмотрим возможные способы регулирования скорости асинхронных двигателей. Скорость двигателя определяется двумя параметрами: скоростью вращения электромагнитного поля статора ω_0 и скольжением s :

$$\begin{aligned}W &= W_0 - s_{abc} \\W &= W_0 - W_0 s\end{aligned}\quad (2.0)$$

Исходя из (1) принципиально возможны два способа регулирования скорости: регулирование скорости вращения поля статора и регулирование скольжения при постоянной величине ω_0 .

Скорость вращения поля статора определяется двумя параметрами: частотой напряжения, подводимого к обмоткам статора f_1 , и числом пар полюсов двигателя p_n . В соответствии с этим возможны два способа регулирования скорости: изменение частоты питающего напряжения посредством преобразователей частоты, включаемых в цепь статора двигателя (частотное регулирование), и путем изменения числа пар полюсов двигателя.

2.2.1. Частотное регулирование

Принципиальная возможность регулирования угловой скорости асинхронного двигателя изменением частоты питающего напряжения вытекает из формулы $\omega = 2\pi f_1 (1 - s)/p$. При регулировании частоты также возникает необходимость регулирования амплитуды напряжения источника, что следует из выражения $U_1 \approx E_1 = k\Phi f_1$. Если при неизменном напряжении изменять частоту, то поток будет изменяться обратно пропорционально частоте. Так, при уменьшении частоты поток возрастет, и это приведет к насыщению стали машины и как следствие к резкому увеличению тока и превышению температуры двигателя; при увеличении частоты поток будет уменьшаться и как следствие будет уменьшаться допустимый момент.

Для наилучшего использования асинхронного двигателя при регулировании угловой скорости изменением частоты необходимо регулировать напряжение одновременно в функции частоты и нагрузки, что реализуемо только в замкнутых системах электропривода. В разомкнутых

системах напряжение регулируется лишь в функции частоты по некоторому закону, зависящему от вида нагрузки.

Частотное регулирование угловой скорости электроприводов переменного тока с двигателями с короткозамкнутым ротором находит все большее применение в различных отраслях техники. Например, в установках текстильной промышленности, где с помощью одного преобразователя частоты, питающего группу асинхронных двигателей, находящихся в одинаковых условиях, плавно и одновременно регулируются их угловые скорости. Примером другой установки с частотно-регулируемыми асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором могут служить транспортные рольганги в металлургической промышленности, некоторые конвейеры и др.

При изменении частоты вращения вентилятора, работающего в заданной сети, рабочий режим вентилятора смещается вдоль характеристики сети. В соответствии с формулами при изменении частоты вращения в m раз, производительность вентилятора изменится в m раз, создаваемое давление - в m^2 раз, потребляемая мощность - в m^3 раз. КПД вентилятора остается неизменным (рисунок 12). Данный способ регулирования является наиболее экономически выгодным.

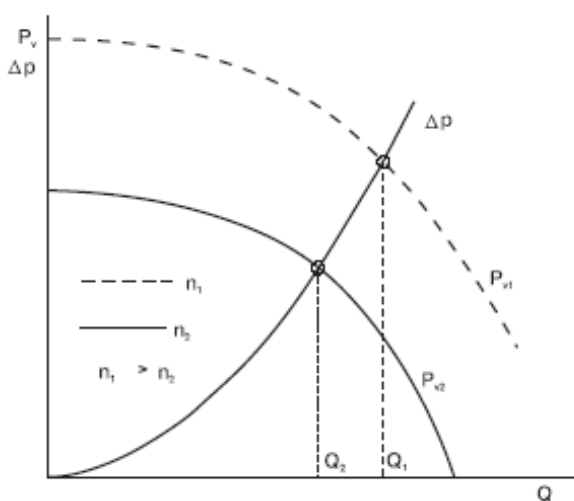


Рисунок 12 – рабочий режим вентиляторной установки

Преобразователи частоты можно разделить на электромашинные и вентильные. В свою очередь электромашинные преобразователи могут быть выполнены с промежуточным звеном постоянного тока и непосредственной связью. В последних используют коллекторную машину переменного тока, на вход которой подают переменное напряжение с постоянной частотой и амплитудой, а на выходе ее получают напряжение с регулируемой частотой и амплитудой. Электромашинные преобразователи с непосредственной связью практического применения не получили.

Основными достоинствами системы частотного регулирования электропривода являются:

- плавность регулирования и высокая жесткость механических характеристик, что позволяет регулировать скорость в широком диапазоне;
- экономичность регулирования, определяемая тем, что двигатель работает с малыми величинами абсолютного скольжения, и потери в двигателе не превышают номинальных.

Недостатками частотного регулирования являются сложность и высокая стоимость (особенно для приводов большой мощности) преобразователей частоты и сложность реализации в большинстве схем режима рекуперативного торможения.

2.3. Функциональная схема ЭП вентилятора

Вентиляторы являются механизмами с режимом длительной нагрузки с большой продолжительностью работы в течение года; нагрузка на валу приводного двигателя спокойная, перегрузок не возникает.

Необходимый диапазон регулирования скорости для вентиляторов обычно не превышает 2:1. Более глубокое регулирование используется редко, если учитывать кубическую зависимость потребляемой мощности от частоты вращения.

Перечисленным требованиям наиболее полно соответствует частотно-регулируемый асинхронный электропривод вентилятора. При этом, как правило, можно ограничиться использованием простых и недорогих систем

частотного регулирования. Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода приведена на рисунке 13.

С целью обеспечения требуемого момента во время пуска должна быть предусмотрена возможность настройки вольт – частотной и регулирования времени разгона и торможения. Определяя параметры вольт – частотной характеристики, нижним частотам ставят в соответствие значения напряжений выше, чем при выбранном законе регулирования. Регулирование времени разгона/торможения достигается применением задатчика интенсивности.

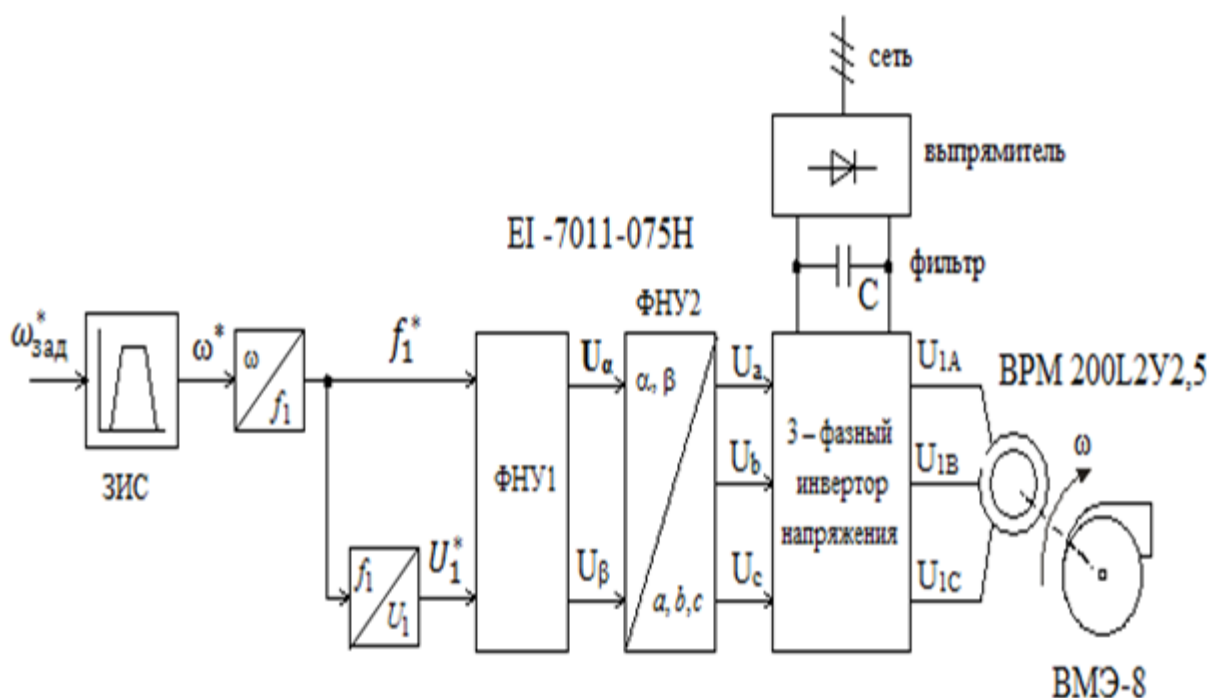


Рисунок 13 – Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

В состав электропривода входят: преобразователь частоты VLT 2855, асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором 4А112М4 и радиальный вентилятор низкого давления ВР 80-75-6,3. Настраиваемыми параметрами электропривода являются: тип и параметры задатчика интенсивности скорости (ЗИС), значение минимальной частоты

преобразователя $f_{\text{и мин}}$, закон регулирования U_1/f_1 и коррекция вольт-частотной характеристики.

ВЫБОР И РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

3.1. Вентилятор осевой шахтный ВМЭ-8

Шахтные вентиляторы относятся к разряду специальных, область применения которых не предусматривает вентиляционные системы промышленных или общественных зданий. Эти вентиляторы предназначены для распространения воздуха и различных примесей в нем, как взрывоопасных, так и агрессивных. Для местных вентиляторов существует ряд особых требований: компактность, взрывобезопасность, минимальная масса, простота в обслуживании и транспортабельность. Шахтные осевые вентиляторы устанавливаются в вентиляционных системах подземных разработок (шахты, рудники).

Вентилятор шахтный местного проветривания ВМЭ-8 осевой с электрическим приводом, одноступенчатый, взрывобезопасный, предназначен для проветривания тупиковых горных выработок в шахтах, включая опасные по газу к пыли, при плотности воздуха до 1,3 кг/м³, при температуре от -20°С до +35°С, запыленности до 50 мг/м³ и относительной влажности до 95% (при температуре +25°С). По заявке потребителя вентиляторы могут поставляться на напряжение 380/660 В и 660/1140 В.

Вентиляторы устанавливаются в горизонтальном положении с допустимым отклонением их осей от горизонтали не более 30 град.

Достоинства:

Производительность вентиляторов ВМЭ-8 (660/1140 В) может регулироваться поворотом лопаток рабочего колеса;

Конструкция вентиляторов позволяет соединять последовательно два, а в отдельных случаях, когда этого требует длина и сопротивление трубопровода, три вентилятора.

Лопатки вентилятора выполнены из негорючих материалов.

Возможность отключения вентилятора при превышении нормальной температуры.

Современная аэродинамическая схема с меридиональным ускорением потока, обеспечивающая более высокий КПД и экономичность работы;

Противосрывное устройство, которое устраняет помпажные режимы работы, расширяет область промышленного использования вентилятора и обеспечивает высокую надежность;

Простое и надежное регулирование режимов работы сменными венцами рабочего колеса;

Облегченное рабочее колесо, увеличивающее долговечность и надежность работы двигателя и вентилятора;

Оригинальное крепление сменных венцов поворотными клиновыми зажимами, исключая резьбовые детали, которые подвержены коррозии;

Безопасность работы, легкость обслуживания и доступа ко всем частям вентилятора;

Низкий уровень шума благодаря применению оригинального спрямляющего аппарата;

По требованию заказчика вентилятор может быть укомплектован глушителем шума.

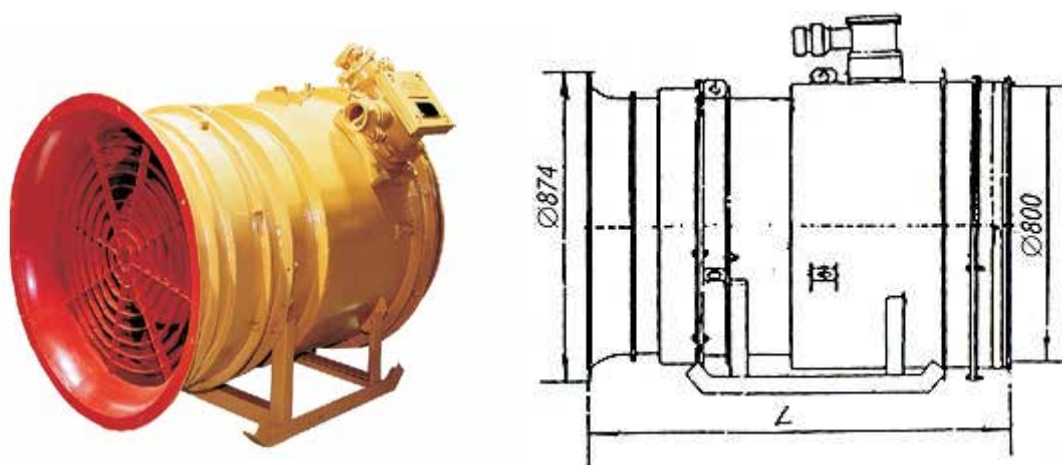


Рисунок 14 – Вентилятор осевой шахтный ВМЭ-8

Таблица 5 Технические характеристики вентилятора ВМЭ – 8

Номинальный диаметр, мм	800
Частота вращения, об/мин	3000
Мощность электродвигателя, кВт	50
Максимальный полный КПД	0,63
Номинальное полное давление, Па	3200
Номинальная подача, м ³ /с	10
Длина с глушителем	2645
Размеры:	1170 x 910 x 1216
Вес:	800

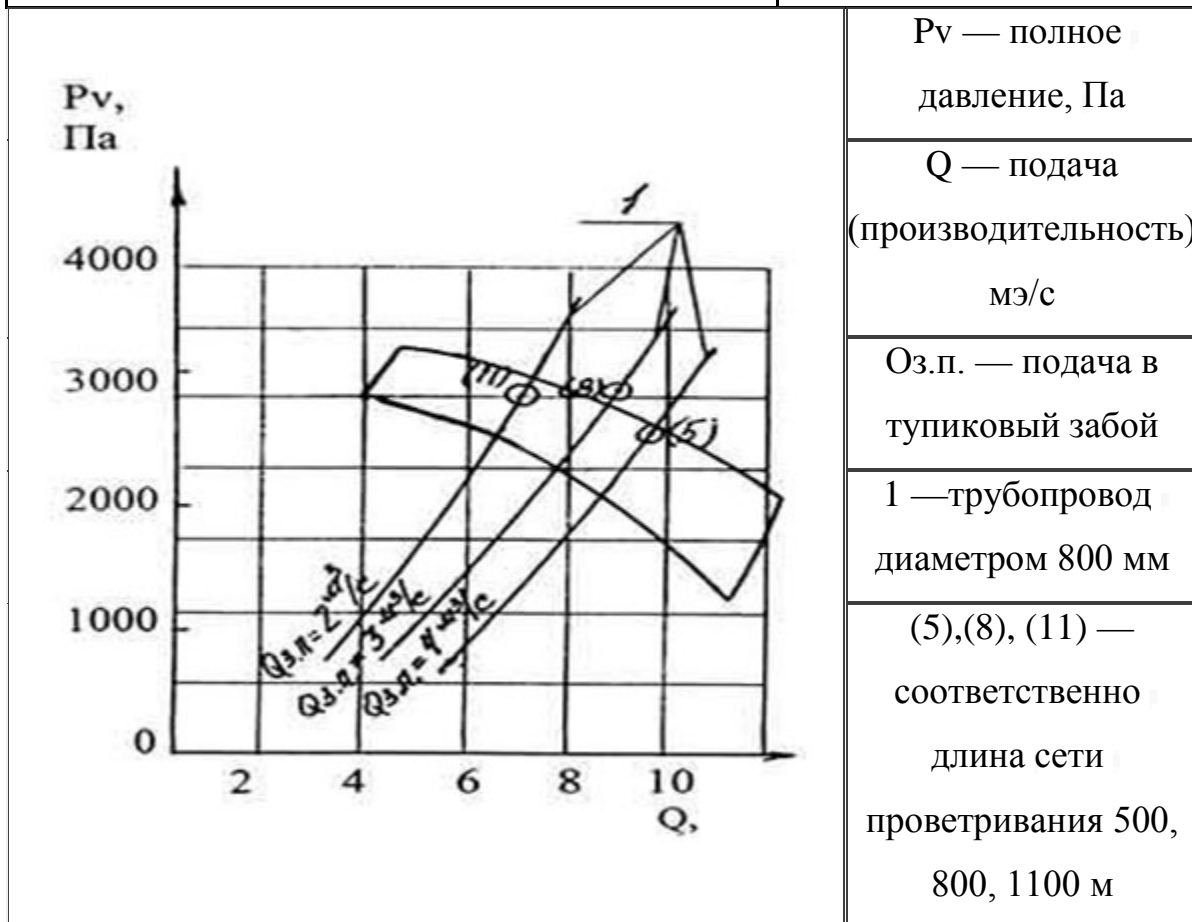


Рисунок 15 – Аэродинамические характеристики вентилятора ВМЭ-8

3.2 Выбор и определение параметров электродвигателя

Двигатель ВРМ 200L2У2,5

Двигатели предназначены для работы в качестве привода вентилятора местного проветривания в угольных и сланцевых шахтах, опасных по газу или угольной пыли, а также во всех отраслях горнорудной промышленности. Буква М в типе двигателя обозначает специальное исполнение для вентиляторов местного проветривания.

Двигатели предназначены для продолжительного режима работы S1 от сети переменного тока частотой 50Гц при номинальном напряжении до 660В и имеют исполнение во взрывозащите РВЗВМ для ВРМ200L2У2,5. Технические данные двигателя приведены в таблице 6.

Конструктивно двигатели выполнены на базе основного исполнения электродвигателей ВР с максимальной унификацией применяемых узлов, деталей и материалов.

Двигатели предназначены для встраивания в корпус вентилятора, к которому крепится с помощью фланца, расположенного со стороны свободного конца вала. Крепление осуществляется болтами М12. Рабочее колесо вентилятора располагается на валу электродвигателя, охлаждение которого осуществляется основным потоком воздуха, идущим от рабочего колеса вентилятора.

Обмотка ротора - литая из сплава алюминия, короткозамкнутая.

Подшипниковые щиты, крышки и детали коробки выводов выполнены из чугуна повышенной прочности. Коробка выводов крепится к патрубку станины и может поворачиваться на угол, кратный 90°.

Таблица 6 – Технические данные двигателя ВРМ 200L2У2,5

Наименование параметра	Значение
------------------------	----------

Полезная мощность, P_{2H} , (кВт)	50
Скольжение, s (%)	2,3
Номинальная частота вращения, n_H , (об/сек)	2930
КПД, (%)	91
Коэффициент мощности, $\cos\varphi$	0,88
Кратность пускового момента, $KП$	1,7
Кратность максимального момента, $KМ$	2,2
Кратность пускового тока, $KТ$	6

Для расчета характеристик асинхронного двигателя, как правило, пользуются 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.

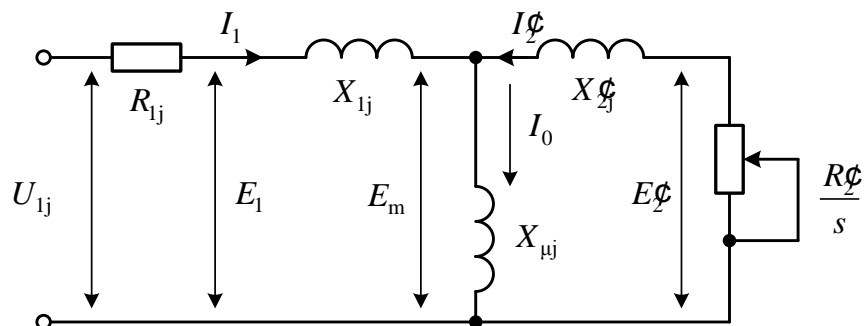


Рисунок 16 – Т-образная схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие схеме замещения:

$$\bar{U}_{1\phi} - \bar{E}_m - jX_1\bar{I}_1 - R_1\bar{I}_1 = 0; \quad (3.2.0)$$

$$\bar{E}_m + jX_2'\bar{I}_2 + \frac{R_2'\bar{I}_2}{s} = 0; \quad (3.2.1)$$

$$\bar{I}_1 + \bar{I}_2' - \bar{I}_0 = 0 \quad (3.2.2)$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений, удовлетворяющая (3.2.0), (3.2.1) и (3.2.2) изображена на рисунке 17.

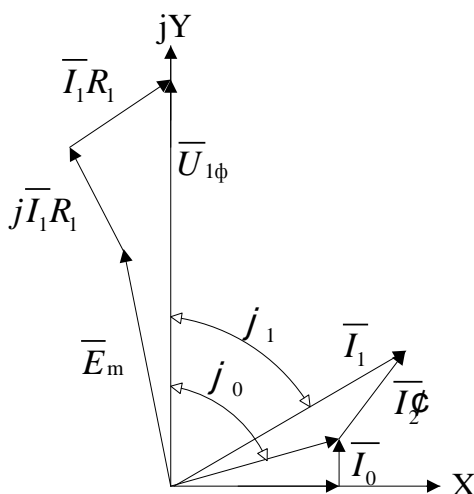


Рисунок 17 – Векторная диаграмма асинхронной машины

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1чз}^2 - \frac{é}{e} I_{1H} \kappa_{чз} \frac{1 - s_H}{1 - \kappa_{чз} s_H} \frac{\dot{u}^2}{\dot{u}}}{1 - \frac{é}{e} \kappa_{чз} \frac{1 - s_H}{1 - \kappa_{чз}} \frac{\dot{u}^2}{\dot{u}}}}, \quad (3.2.3)$$

$$I_0 = \sqrt{\frac{47,49^2 - \frac{é}{e} 94,98 \times 0,5 \frac{1 - 0,023}{1 - 0,75 \times 0,023} \frac{\dot{u}^2}{\dot{u}}}{1 - \frac{é}{e} 0,5 \times \frac{1 - 0,023}{1 - 0,5} \frac{\dot{u}^2}{\dot{u}}}} = 11,34 \text{ A.}$$

$\cos j_{чз}, h_{чз}$ – коэффициент мощности и КПД двигателя при частичной нагрузке; $\kappa_{чз} = P_{чз} / P_H$ – коэффициент частичной нагрузки двигателя.

Коэффициент мощности и КПД при частичной нагрузке в технической литературе приводятся редко, а для целого ряда серий электрических машин такие данные в справочной литературе отсутствуют. Эти параметры можно определить, руководствуясь следующими соображениями: современные

асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при загрузке на 10 – 15% меньшей номинальной. Двигатели рассчитываются так потому, что большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому КПД при номинальной нагрузке и нагрузке $p = 0,5$ практически равны между собой.

Номинальный ток статора двигателя:

$$I_{1H} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \times U_H \times \cos j \times \eta_H} \quad (3.2.4)$$

$$I_{1H} = \frac{50 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,88 \times 0,91} = 94,6 \text{ A};$$

Ток статора двигателя при частичной загрузке:

$$I_{1чз} = \frac{\kappa_{чз} \times P_H}{\sqrt{3} \times U_H \times \cos j_{чз} \times \eta_{чз}} \quad (3.2.5)$$

$$I_{1чз} = \frac{0,5 \times 50 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,88 \times 0,91} = 47,78$$

Критическое скольжение:

$$s_{KP1} = s_H \frac{\dot{e} K_M + \sqrt{K_M^2 - [1 - 2s_H b(K_M - 1)] \dot{u}}}{1 - 2s_H b(K_M - 1)}, \quad (3.2.6)$$

$$s_{KP1} = 0,023 \frac{\dot{e}_{2,2} + \sqrt{2,2^2 - [1 - 2 \times 0,023 \times (2,2 - 1)] \dot{u}}}{1 - 2 \times 0,023 \times (2,2 - 1)} = 0,1$$

где β – вспомогательный коэффициент (на начальном этапе принимаем $\beta = 1$, в дальнейшем β может принимать диапазон значений от 0,6 до 2,5).

Далее по приведённым выражениям необходимо определить ряд промежуточных коэффициентов.

Определим коэффициент пропорциональности C_1 :

$$C_1 = \frac{I_0}{2K_T I_{1H}} + 1; \quad (3.2.7)$$

$$C_1 = \frac{31,74}{2 \times 6 \times 94,98} + 1 = 1,01;$$

Определим значение A_1 :

$$A_1 = 3U_{\phi H}^2 \frac{1 - s_H}{2C_1 K_M P_H}; \quad (3.2.8)$$

$$A_1 = 3 \times 220^2 \frac{1 - 0,023}{2 \times 1,028 \times 2,2 \times 50 \times 10^3} = 0,63.$$

Значение активного сопротивления цепи ротора, приведенного к обмоткам статора R_2' :

$$R_2' = \frac{A_1}{\frac{\pi}{\sigma} b + \frac{1}{s_k} \times C_1}; \quad (3.2.9)$$

$$R_2' = \frac{0,63}{\frac{\pi}{\sigma} b + \frac{1}{0,1} \times 1,01} = 0,058 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статора обмотки:

$$R_1 = C_1 R_2' b; \quad (3.2.10)$$

$$R_1 = 1,028 \times 0,058 \times 1 = 0,059 \text{ Ом.}$$

Параметр g , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания X_{KH}

$$g = \sqrt{\frac{\beta^2}{C_1^2 s_k^2} - b^2}; \quad (3.2.11)$$

$$g = \sqrt{\frac{1}{0,1^2} - 1^2} = 9,79$$

Если значение g отрицательно, то необходимо изменить первоначальное принятое значение β .

Индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$X_{KH} = g C_1 R_2'; \quad (3.2.11)$$

$$X_{KH} = 9,79 \times 1,01 \times 0,058 = 0,57 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной, определяется:

$$X_2' = 0,58 \frac{X_{KH}}{C_1}; \quad (3.2.12)$$

$$X_2' = 0,58 \times \frac{0,57}{1,01} = 0,33 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки:

$$X_1 = 0,42 \times X_{KH}; \quad (3.2.13)$$

$$X_1 = 0,42 \times 0,57 = 0,25 \text{ Ом.}$$

По найденным значениям C_1 , R_2' и X_{KH} определяется критическое

скольжение:

$$s_{кр2} = \frac{C_1 R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}}, \quad (3.2.14)$$

$$s_{кр2} = \frac{1,01 \times 0,058}{\sqrt{0,058^2 + 0,57^2}} = 0,1.$$

Рассчитанные значения $s_{кр1}$ и $s_{кр2}$ равны.

ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведенную потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$E_1 = \sqrt{(U_{\phi H} \cos j_H - R_1 I_{1H})^2 + (U_{\phi H} \sin j_H + X_1 I_{1H})^2}; \quad (3.2.15)$$

$$E_1 = \sqrt{(220 \times 0,88 - 0,059 \times 94,98)^2 + (220 \times 0,47 + 0,25 \times 94,98)^2} = 204,97 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_m = \frac{E_1}{I_0}, \quad (3.2.16)$$

$$X_m = \frac{204,97}{31,74} = 18,08 \text{ Ом.}$$

Таблица 7 – Рассчитанные параметры схемы замещения асинхронного двигателя.

R_1 Ом	X_1 Ом	L_1 мГн	X_μ Ом	L_m Гн	R_2' Ом	X_2' Ом	L_2' мГн	X_{KH} Ом
0,059	0,25	0,79	18,08	0,018	0,058	0,33	1,05	0,57

3.2.1. Электромеханические и механические характеристики асинхронного двигателя ВРМ 200L2У2,5

Синхронная угловая скорость двигателя:

$$\omega_0 = \frac{2pf}{p} = \frac{2p \times 50}{1} = 314,16 \text{ рад / с.} \quad (3.2.17)$$

Характерные точки электромеханической характеристики.

Номинальный режим:

$$\omega_H = \omega_0(1 - s_H) = 314,16 \times (1 - 0,023) = 306,93 \text{ рад / с.} \quad (3.2.18)$$

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{50000}{306,93} = 162,9 \text{ Н} \times \text{м.} \quad (3.2.19)$$

Режим короткого замыкания (режим пуска):

$$I_{\pi} = k_T \times I_H = 7 \times 94,6 = 662,2 \text{ А.} \quad (3.2.20)$$

Определим зависимость тока ротора I'_2 приведенного к обмотке статора, от скорости ω :

$$I'_2(\omega) = \frac{U_{1H}}{\sqrt{R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} + (X_{1H} + X'_{2H})}}. \quad (3.2.21)$$

График электромеханической характеристики, рассчитанный по формуле (3.2.21) в математической системе MathCAD, приведен на рисунке 18.

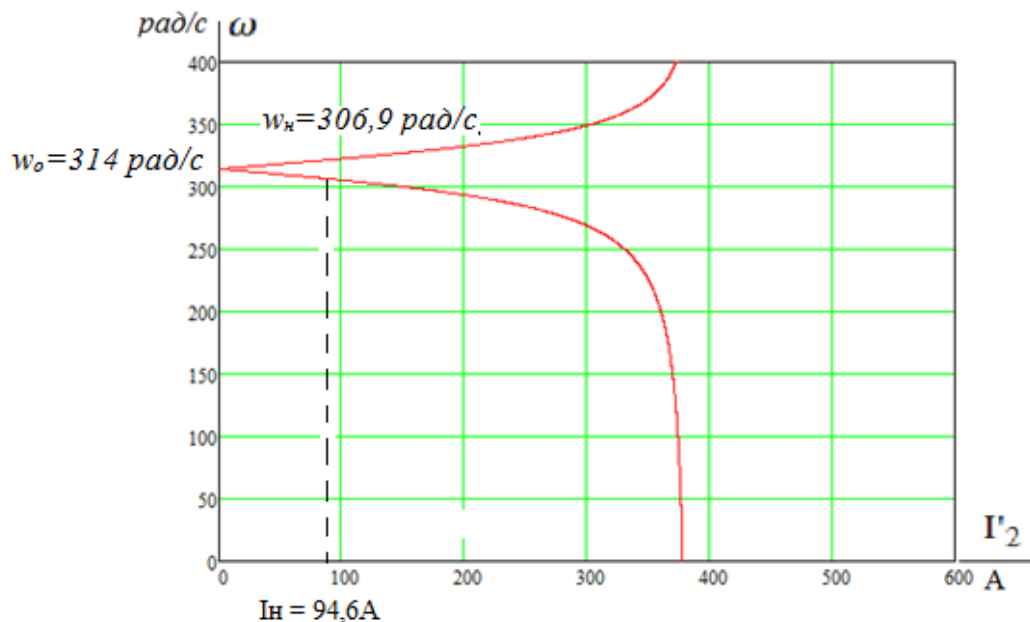


Рисунок 18 – График электромеханической характеристики $I'_2 = f(\omega)$

Электромеханическую характеристику $I_1 = f(\omega)$ рассчитаем по выражению (3.2.22) с учетом тока I'_2 , найденного по уравнению (3.2.21), тогда

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2I_0I_2'(\omega)0.673}; \quad (3.2.22)$$

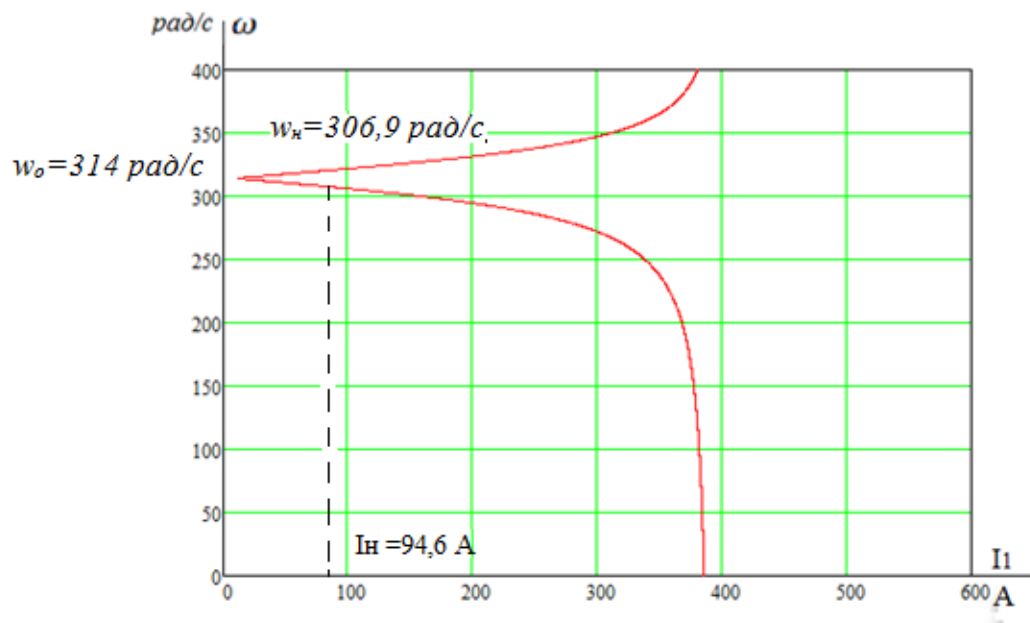


Рисунок 19 – График естественной электромеханической характеристики $I_1 = f(\omega)$ асинхронного двигателя

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя $M(\omega)$ рассчитывается по выражению:

$$M(\omega) = \frac{3U_{1H}^2 R_2'}{\omega_0 - \omega \left(\frac{R_1}{\omega_0} + \frac{R_2'}{\omega_0 - \omega} \right) + X_{KH}^2} \quad (3.2.23)$$

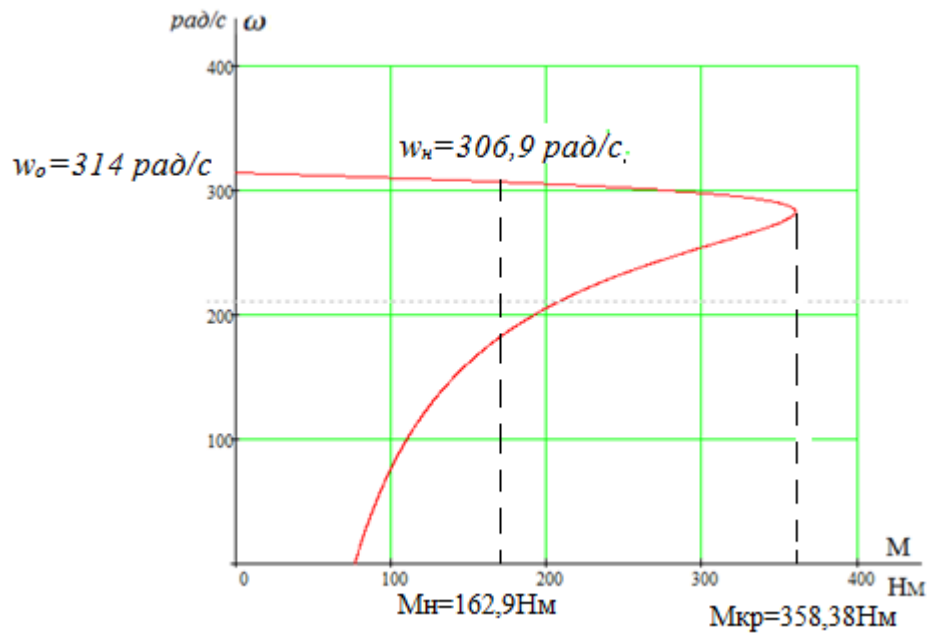


Рисунок 20. – Естественная механическая характеристика двигателя

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

$$M_{\text{сдв}} = M_{\text{эмн}} - M_{\text{двн}} = 166.387 - 162.9 = 3.487, \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (3.2.24)$$

$$M_{\text{эм.н}} = \frac{3U_{1\text{фн}}^2 R_2'}{w_0^2 s_H X_{\text{кн}}^2 + \frac{R_1}{s_H} + \frac{R_2' \dot{\omega}^2}{s_H \dot{\omega}} + \frac{\omega R_1 R_2' \dot{\omega}^2}{e s_H X_m \dot{\omega}}} =$$

$$= \frac{3 \times 220^2 \times 0.058}{157 \times 0.023 \times 0.57^2 + \frac{0.059}{0.023} + \frac{0.058 \dot{\omega}^2}{0.023 \dot{\omega}} + \frac{0.059 \times 0.058 \dot{\omega}^2}{0.023 \times 8.07 \dot{\omega}}} = 166,387 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

– номинальный электромагнитный момент двигателя.

Момент постоянных потерь на валу вентилятора

$$DM_{\text{пост}} = K \times M_{\text{полн}} = 0.049 \times 62.9 = 8.06 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$DM_c = M_{\text{с.дв}} + DM_{\text{пост}} = 3.487 + 8.06 = 11.54 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

момент сопротивления от сил трения, приведенный к валу двигателя:
(3.2.25)

Коэффициент потерь при работе вентилятора с $\eta_H = 0.91$

$$K = \frac{1-\eta_H}{2 \cdot \eta_H} = \frac{1-0.91}{2 \cdot 0.91} = 0,049 \quad (3.2.26)$$

Выражение для механической характеристики полного момента сопротивления на валу электродвигателя в общем случае имеет вид

$$M_{ci}(w) = DM_c + (1 + b_i) \times M_{\text{полн}i} \times \frac{\omega}{\omega_H} \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^{x_i}, \quad (3.2.27)$$

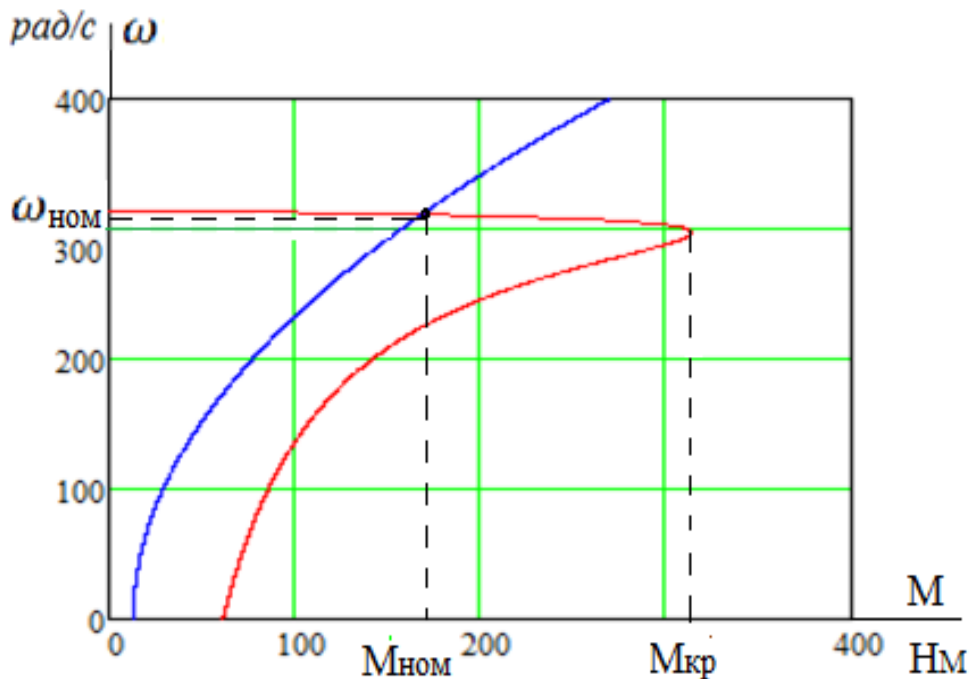


Рисунок 21. – Естественная механическая характеристика двигателя $\omega(M)$ и характеристика полного момента сопротивления на валу

3.2.2. ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВЕНТИЛЯТОРНОЙ НАГРУЗКОЙ В ПРОГРАММЕ MATLAB (SIMULINK)

Для проверки правильности расчета параметров выбранного асинхронного двигателя исследуем ее в программе MATLAB (simulink). Модель асинхронного двигателя получена из раздела библиотеки SimPower System. На рисунке 22 представлена схема моделирования процесса пуска асинхронного короткозамкнутого двигателя с вентиляторной нагрузкой в соответствии с выражением 36. Рассчитанные параметры асинхронного двигателя были приведены в таблице 7.

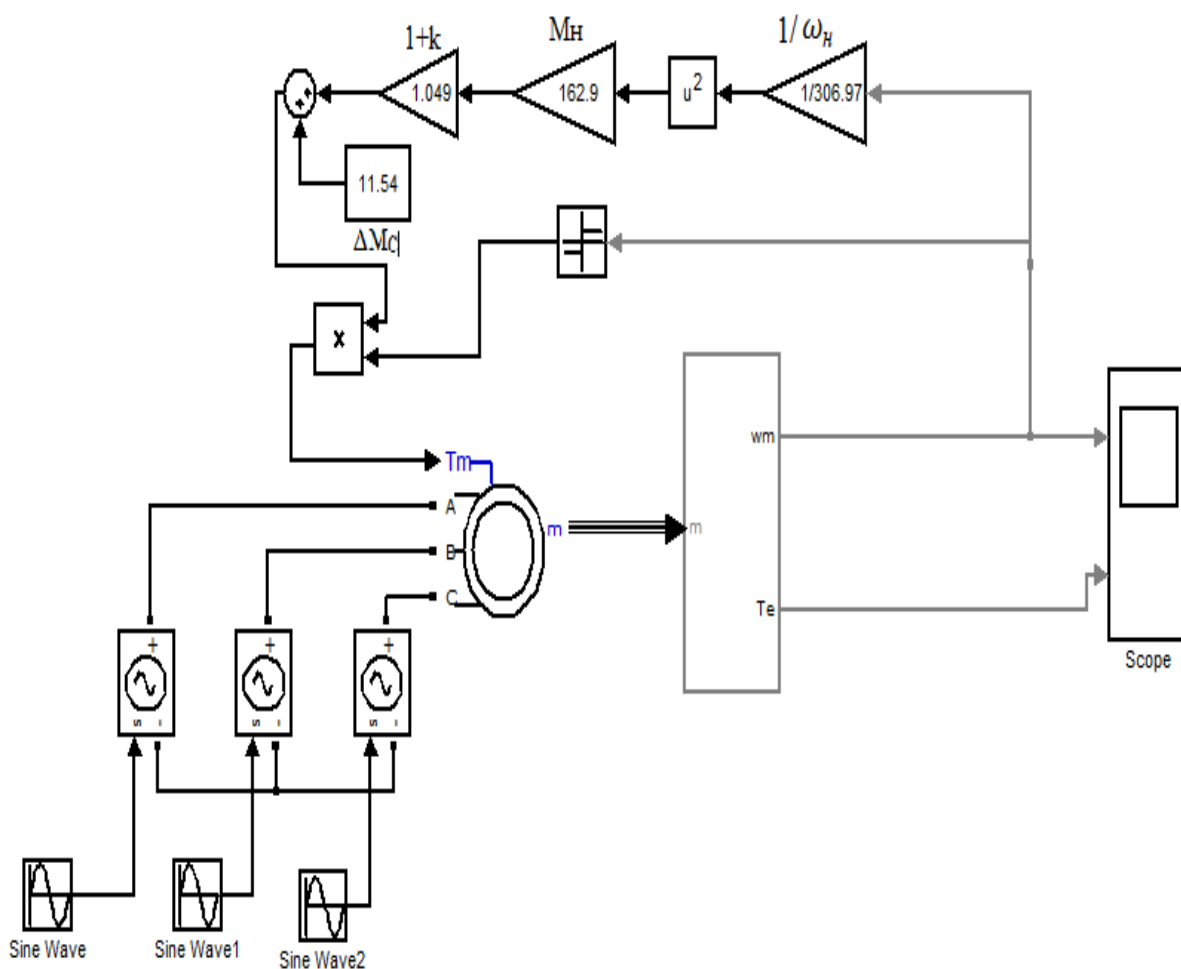


Рисунок 22 – Модель электропривода переменного тока с вентиляторной нагрузкой

Результаты моделирования процессов пуска двигателя представлены на рисунке 23. На временном отрезке от 0 до 2,4 с на двигатель подается напряжение и двигатель разгоняется скоростью 306,93 $\omega/\text{рад}\cdot\text{с}$ под нагрузкой 162,9 Н·М.

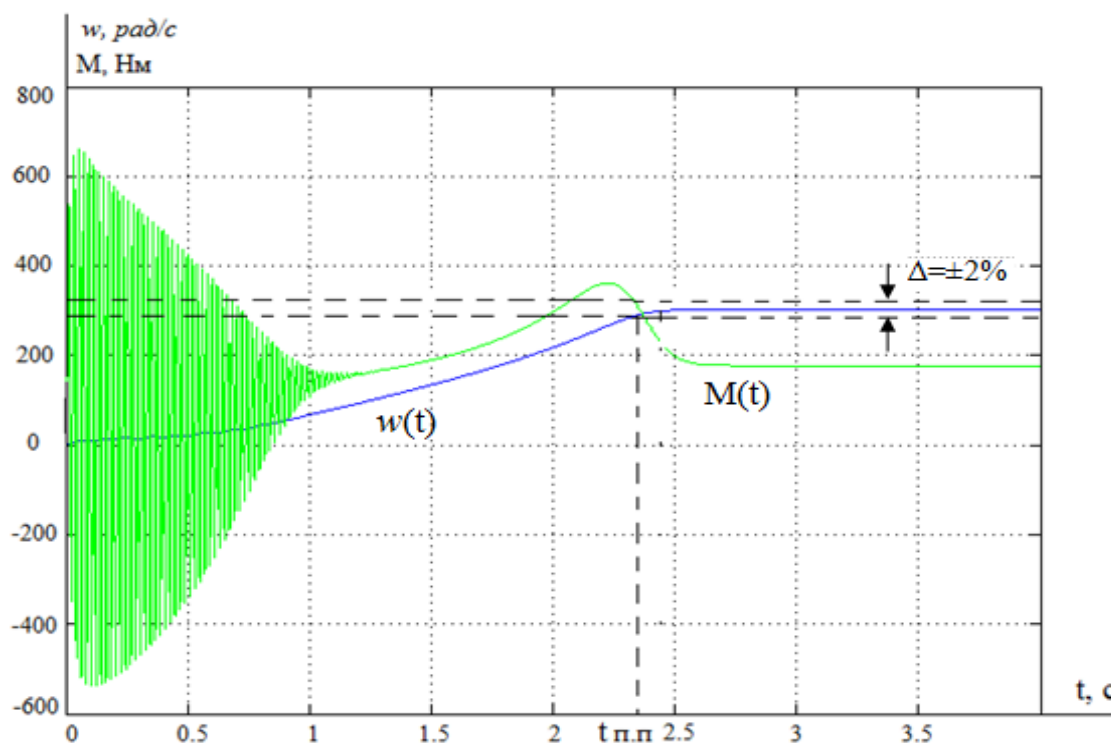


Рисунок 23 – Переходные процессы пуска асинхронного двигателя под нагрузкой.

3.2.3. Математическое описание, структурные схемы и моделирование обобщенной асинхронной машины.

Обобщенная асинхронная машина показана на рисунке 0. Она содержит трехфазную обмотку на статоре и трехфазную обмотку на роторе. Обмотки статора и ротора подключены к симметричным трехфазным источникам напряжения. Математическое описание такой машины базируется на известных законах.

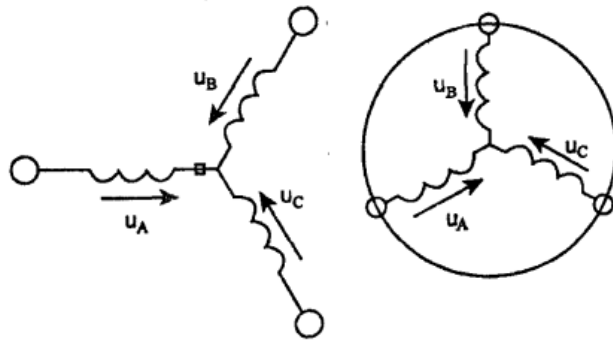


Рисунок 24 – обобщенная асинхронная машина

Уравнение равновесия ЭДС на обмотках статора и ротора в соответствии со 2 законом Кирхгофа запишутся в виде:

Для статора:

$$U_A = R_A I_A + \frac{d\psi_A}{dt},$$

$$U_b = R_b i_b + \frac{d\psi_b}{dt},$$

$$U_c = R_c i_c + \frac{d\psi_c}{dt},$$

Для ротора:

$$U_a = R_a I_a + \frac{d\psi_a}{dt},$$

$$U_B = R_B I_B + \frac{d\psi_B}{dt}, \quad (3.2.28)$$

$$U_C = R_C I_C + \frac{d\psi_C}{dt}.$$

В уравнениях (3.2.28) фигурирует мгновенное напряжения, токи и потокосцепления статора и ротора, а также активные сопротивления обмоток. Обычно обмотки выполняются симметричными и поэтому $R_A=R_B=R_C=R_S$ – активное сопротивление статорной обмотки, $R_a=R_b=R_c=R_R$ – активное сопротивление роторной обмотки.

В уравнениях (3.2.28) потокосцепление обмоток статора и ротора находятся на основе закона Ампера:

Для статора:

$$\psi_A = L_{AA}i_A + L_{AB}i_B + L_{AC}i_C + L_{Aa}i_a + L_{Ab}i_b + L_{Ac}i_c$$

$$\psi_B = L_{BA}i_A + L_{BB}i_B + L_{BC}i_C + L_{Ba}i_a + L_{Bb}i_b + L_{Bc}i_c$$

$$\psi_C = L_{CA}i_A + L_{CB}i_B + L_{CC}i_C + L_{Ca}i_a + L_{Cb}i_b + L_{Cc}i_c \quad (3.2.29)$$

Для Ротора:

$$\psi_a = L_{aA}i_A + L_{aB}i_B + L_{aC}i_C + L_{aa}i_a + L_{ab}i_b + L_{ac}i_c$$

$$\psi_b = L_{bA}i_A + L_{bB}i_B + L_{bC}i_C + L_{ba}i_a + L_{bb}i_b + L_{bc}i_c$$

$$\psi_c = L_{cA}i_A + L_{cB}i_B + L_{cC}i_C + L_{ca}i_a + L_{cb}i_b + L_{cc}i_c$$

Уравнение для определения потокосцепления показывают, что потокосцепление каждой обмотки зависит от токов во всех обмотках. Эти зависимости проявляются через взаимную индукцию. В уравнениях (38) $L_{AA}, L_{BB}, L_{CC}, L_{aa}, L_{bb}, L_{cc}$ являются собственными индуктивностями соответствующих обмоток, все остальные – являются взаимными индуктивностями между соответствующими обмотками.

Уравнение равновесия моментов на валу машины определяется на основе второго закона Ньютона:

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = M - M_H \quad (3.2.30)$$

Где J (кг) – момент инерции на валу машины, учитывающий инерционность как самой машины, так и приведенной к валу инерционности рабочего механизма и редуктора, ω_m (рад/с) – угловая скорость вала машины, M_H (Нм) – момент рабочего механизма, приведенной к валу, который в общем случае может быть функцией скорости и угла поворота.

Электромагнитный момент машины в уравнении (3.2.30) находится на основании закона, сформулированного Ленцем, как правила левой руки. Этот закон связывает векторные величины момента, потокосцепления и тока:

$$M = k(\psi' i) \quad (3.2.31)$$

$$\begin{aligned} u_S &= R_S i_S + \frac{d\psi_S}{dt}, \\ u_R &= R_R i_R + \frac{d\psi_R}{dt}, \\ \psi_S &= L_S i_S + L_m(\theta) i_R, \\ \psi_R &= L_m(\theta) i_S + L_R i_R, \end{aligned} \quad (3.2.32)$$

L_S, L_R – собственные индуктивности статора и ротора, $L_m(\theta)$ – взаимная индуктивность между статором и ротором. Вместо 12 уравнений (37) – (38) получено лишь четыре уравнения (3.2.32).

Переменные коэффициенты взаимной индукции в уравнениях для потокосцепления (3.2.32) являются результатом того, что уравнения равновесия ЭДС для статора записаны в неподвижной системе координат,

связанной с ротором. Метод пространственного вектора позволяет записать эти уравнения в единой системе координат, вращающейся с произвольной скоростью ω_k . В этом случае уравнение (3.2.32) преобразуется к виду

$$\begin{aligned} \overset{r}{u}_S &= R_S \overset{r}{i}_S + \frac{d\overset{r}{y}_S}{dt} + j\omega_k \overset{r}{y}_S, \\ \overset{r}{u}_R &= R_R \overset{r}{i}_R + \frac{d\overset{r}{y}_R}{dt} + j(\omega_k - \omega) \overset{r}{y}_R \\ \overset{r}{y}_S &= L_S \overset{r}{i}_S + L_m \overset{r}{i}_R, \\ \overset{r}{y}_R &= L_m \overset{r}{i}_S + L_R \overset{r}{i}_R, \end{aligned} \quad (3.2.33)$$

В уравнениях (3.2.33) все коэффициенты являются величинами постоянными, имеют четкий смысл и могут быть определены по паспортным данным, либо экспериментально.

Момент в уравнении (3.2.31) является вектрным произведением любой пары векторов. Из уравнения (3.2.32) следует, что таких пар может быть шесть: $|(\bar{i}_S, \overset{r}{i}_R); (\overset{r}{y}_S, \overset{r}{y}_R); (\bar{i}_S, \overset{r}{y}_S); (\bar{i}_S, \overset{r}{y}_R); (\overset{r}{i}_R, \overset{r}{y}_R); (\overset{r}{i}_R, \overset{r}{y}_S)|$.

Часто в рассмотрение вводится потокосцепление взаимной индукции. В этом случае появляется еще четыре возможности представления электромагнитного момента машины через следующие пара: $(\bar{i}_S, \overset{l}{y}_m); (\overset{r}{i}_R, \overset{l}{y}_m); (\overset{l}{y}_S, \overset{l}{y}_m); (\overset{l}{y}_R, \overset{l}{y}_m)$.

После выбора той или иной пары уравнение момента приобретает определенность. Кроме того, в уравнениях (3.2.29) и (3.2.30) векторные величины момента и скорости могут быть заменены их модульными значениями. Это является следствием того что пространственные векторы токов и потокосцеплений расположены в плоскости перпендикулярной оси вращения, а вектор момента и угловой скорости совпадают с осью.

В системах мехатроники для определения электромагнитного момента асинхронной машины, как правило, в качестве переменных состояния выбираются ток статора и потокосцепление ротора.

$$M = \frac{3}{2} p k_R \times \text{Mod}(\overset{r}{y}_R, \overset{r}{i}_S). \quad (3.2.34)$$

Обобщенная система уравнений для описания асинхронной машины принимает вид:

$$\begin{aligned}
 \overset{\r}{u}_S &= R_S \overset{\r}{i}_S + \frac{d\overset{\r}{y}_S}{dt} + j\omega_k \overset{\r}{y}_S, \\
 \overset{\r}{u}_R &= R_R \overset{\r}{i}_R + \frac{d\overset{\r}{y}_R}{dt} + j(\omega_k - \omega) \overset{\r}{y}_R, \\
 \overset{\r}{y}_S &= L_S \overset{\r}{i}_S + L_m \overset{\r}{i}_R, \\
 \overset{\r}{y}_R &= L_m \overset{\r}{i}_S + L_R \overset{\r}{i}_R, \\
 M &= \frac{3}{2} p k_R \times \text{Mod}(\overset{\r}{y}_R, \overset{\r}{i}_S), \\
 J \frac{d\overset{\r}{W}_m}{dt} &= M - M_H
 \end{aligned} \tag{3.2.35}$$

Где $\omega = p\omega_m$, p – число пар полюсов.

Схема асинхронной машины с короткозамкнутым ротором получается из обобщенной схемы (рисунок 24), если обмотки ротора замкнут накоротко. При этом в общих уравнениях (3.2.35) следует положить $\overset{\r}{u}_R$.

$$\begin{aligned}
 \overset{\r}{u}_S &= R_S \overset{\r}{i}_S + \frac{d\overset{\r}{y}_S}{dt} + j\omega_k \overset{\r}{y}_S, \\
 0 &= R_R \overset{\r}{i}_R + \frac{d\overset{\r}{y}_R}{dt} + j(\omega_k - p\omega) \overset{\r}{y}_R, \\
 \overset{\r}{y}_R &= L_m \overset{\r}{i}_S + L_R \overset{\r}{i}_R, \\
 M &= \frac{3}{2} p k_R \times \text{Mod}(\overset{\r}{y}_R, \overset{\r}{i}_S), \\
 J \frac{d\overset{\r}{W}_m}{dt} &= M - M_H
 \end{aligned} \tag{3.2.36}$$

Преобразуем уравнение (3.2.35), исключив из них ($\overset{\r}{i}_R$ и ψ). Тогда уравнение (3.2.36) после соответствующих преобразований примут вид:

$$\begin{aligned}
 \overset{\r}{u}_S &= r \bar{i}_S + L_S \frac{d\bar{i}_S}{dt} + j\omega_k L_S \bar{i}_S - \frac{k_R}{T_R} \bar{y}_R + jk_R p \omega_m \bar{y}_R, \\
 0 &= -k_R R_R \bar{i}_S + \frac{1}{T_R} \bar{y}_R + \frac{d\bar{y}_R}{dt} + j(\omega_k - \omega) \bar{y}_R, \\
 M &= \frac{3}{2} p k_R \times \text{Mod}(\bar{y}_R, \bar{i}_S), \\
 J \frac{d\overset{\r}{W}_m}{dt} &= M - M_H
 \end{aligned} \tag{3.2.36}$$

Где:

$$r = (R_S + K_R^2 \cdot R_R);$$

$$L'_S = \left(L_S - \frac{L_m^2}{L_R} \right);$$

$$K_R = \frac{L_m}{L_R};$$

$$T_R = \frac{L_R}{R_R}$$

$$T'_S = \frac{L'_S}{r};$$
(3.2.37)

3.2.4. Моделирование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат с вентиляторной нагрузкой.

В неподвижной системе координат трехфазный асинхронный двигатель чаще всего сводят к двухфазной машине, у которой две обмотки a и b сдвинуты в пространстве на 90 градусов и совмещены с координатными осями a, jb . Установлено, что при питании обмоток статора двухфазного асинхронного двигателя синусоидальными напряжениями, сдвинутыми на 90 эл.град., удастся обеспечить в зазоре электрической машины круговое вращающееся электромагнитное поле.

Переходные процессы короткозамкнутого двухфазного асинхронного двигателя, получающего питание от сети или индивидуального преобразователя, обладающего свойствами источника напряжения, можно получить из совместного решения системы дифференциальных уравнений.

Пространственные вектора в этом случае раскладываются по осям $\underline{u}_S = u_{Sa} + ju_{Sb}, \bar{i}_S = i_{Sa} + ji_{Sb}, \underline{Y}_R = Y_{Ra} + Y_{Rb}$.

Подставив эти значения в уравнения (3.2.37) и приравняв отдельно вещественные и мнимые части, получим:

$$\begin{aligned}
\Gamma u_{Sa} &= r i_{Sa} + L'_S \frac{di_{Sa}}{dt} - \frac{k_R}{T_R} y_{Ra} + k_R p W_m y_{Rb}, \\
\Gamma u_{Sb} &= r i_{Sb} + L'_S \frac{di_{Sb}}{dt} - \frac{k_R}{T_R} y_{Rb} + k_R p W_m y_{Ra}, \\
0 &= -k_R R'_R i_{Sa} + \frac{1}{T_R} y_{Ra} + \frac{dy_{Ra}}{dt} + p W_m y_{Rb}, \\
0 &= -k_R R'_R i_{Sb} + \frac{1}{T_R} y_{Rb} + \frac{dy_{Rb}}{dt} + p W_m y_{Ra}, \\
M &= \frac{3}{2} p k_R (y_{Ra} i_{Sb} - y_{Rb} i_{Sa}), \\
J \frac{dW_m}{dt} &= M - M_H
\end{aligned} \tag{3.2.38}$$

Система уравнений (3.2.38) в операторной форме примет вид

$$\begin{aligned}
\Gamma u_{Sa} &= r(1 + T'_S) i_{Sa} - \frac{k_R}{T_R} y_{Ra} - k_R p W_m y_{Rb}, \\
\Gamma u_{Sb} &= r(1 + T'_S) i_{Sb} - \frac{k_R}{T_R} y_{Rb} + k_R p W_m y_{Ra}, \\
0 &= -k_R R'_R i_{Sa} + \frac{1}{T_R} (1 + T'_S) y_{Ra} + p W_m y_{Rb}, \\
0 &= -k_R R'_R i_{Sb} + \frac{1}{T_R} (1 + T'_S) y_{Rb} - p W_m y_{Ra}, \\
M &= \frac{3}{2} p k_R (y_{Ra} i_{Sb} - y_{Rb} i_{Sa}), \\
J s W_m &= M - M_H, \\
\bar{T}'_S &= \frac{L'_S}{r}.
\end{aligned} \tag{3.2.39}$$

Безразмерные коэффициенты, необходимые для моделирования уравнений (3.2.39), помещены в таблицу 8.

Таблица 8 – Безразмерные коэффициенты

Коэффициенты	r	T'_S	L'_S	K_R	T_R
Единица измерения	Ом	с	Гн		с
Значение	0,112	0,017	0,0019	0,992	1,243

Структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, построенная по уравнениям (3.2.39) с вентиляторной нагрузкой в соответствии с выражением (3.2.27), представлена на рисунке 25.

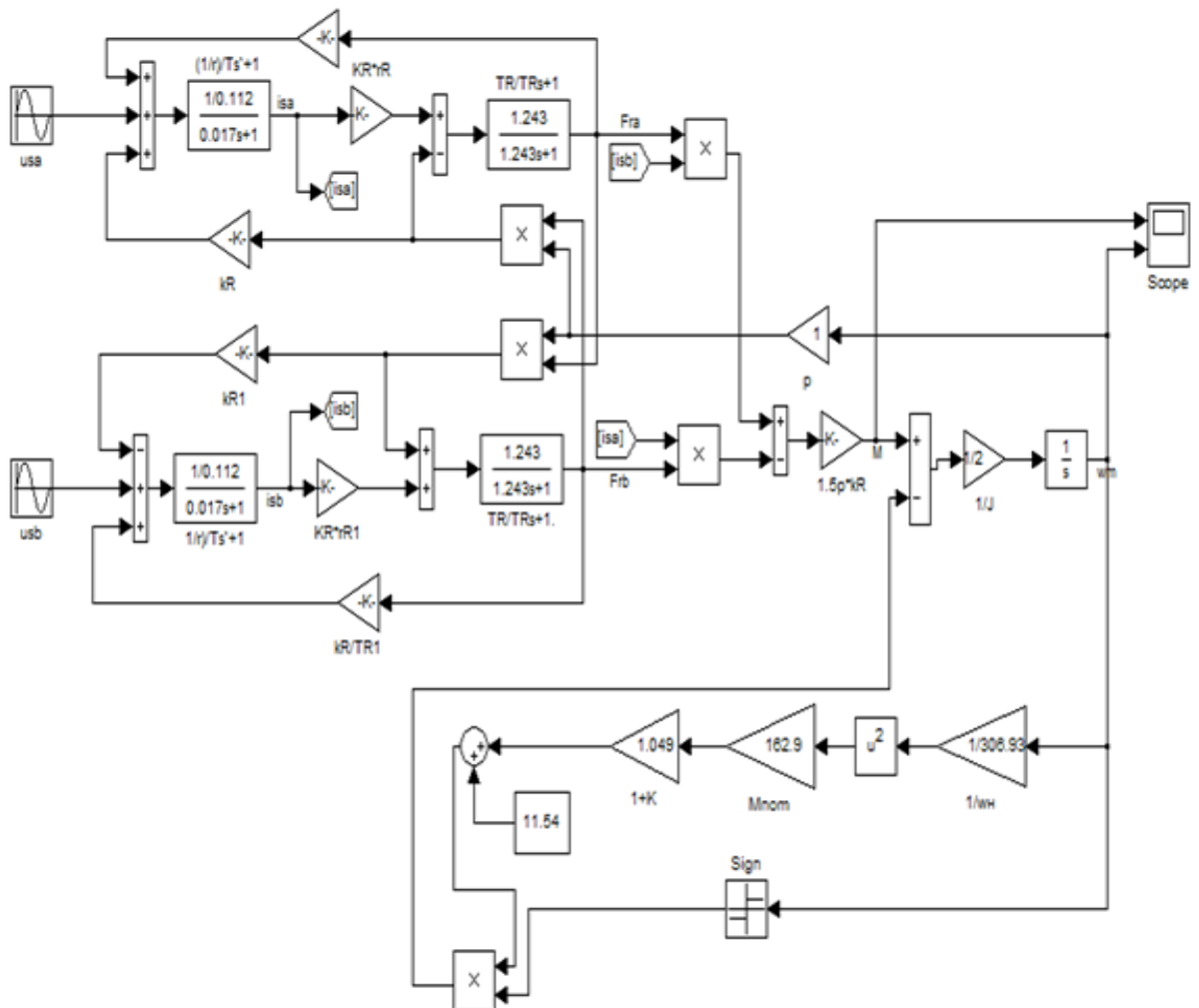


Рисунок 25 – структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат с вентиляторной нагрузкой.

Результаты моделирования процессов пуска двигателя представлены на рисунке 26. На временном отрезке от 0 до 2,4 с на двигатель подается напряжение и двигатель разгоняется скоростью 306,93 $\omega/\text{рад}\cdot\text{с}$ под нагрузкой 162,9 Н·М

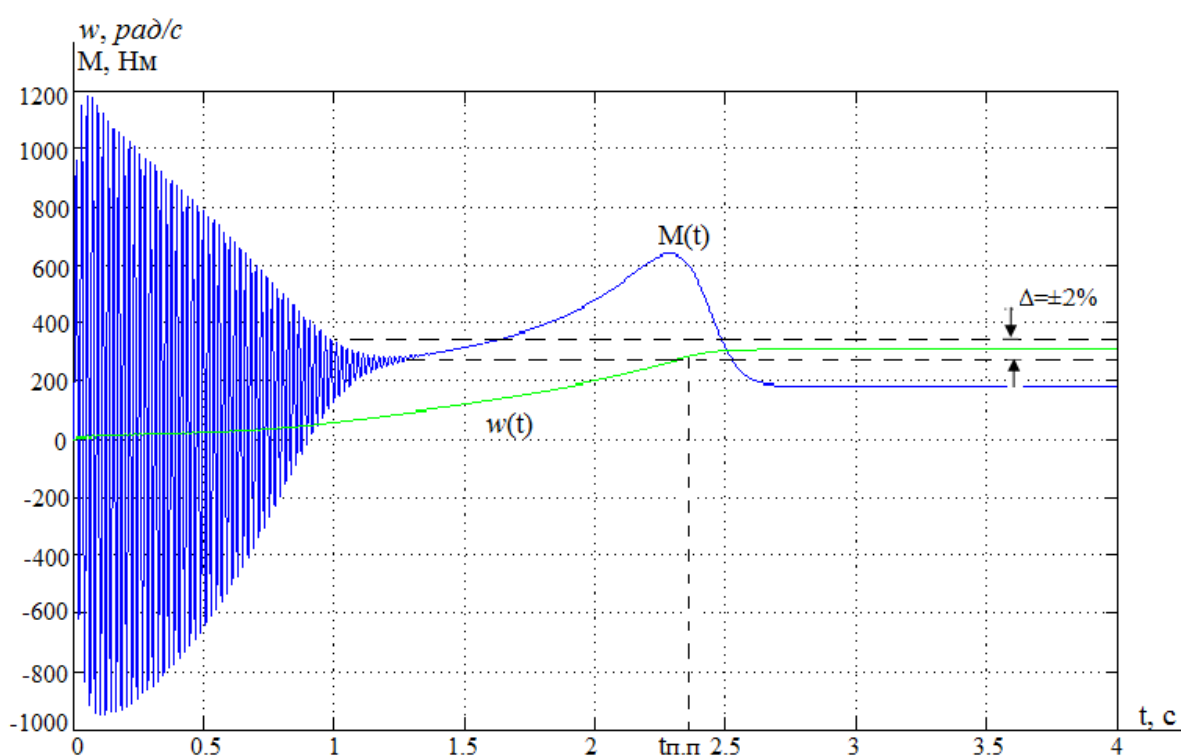


Рисунок 26– результаты моделирования АКЗ в неподвижной системе координат

По результатам полученных графиков переходных процессов скорости и момента, видно что, переходные процессы при структурной схеме АД полностью совпадают с использованием готовой модели АД.

4 ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

4.1. Выбор преобразователя частоты

Для регулируемого асинхронного электропривода вентилятора выбрана преобразователь частоты EI-7011-075H фирмы ВЕСПЕР.

В соответствии с условием

$$I_{и.н} \geq I_n = 94.6A$$



Рисунок 27- преобразователь частоты EI-7011-075H

Параметры преобразователя частоты модели EI-7011-075H приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Параметры преобразователя частоты

Модель	Число фаз на входе	$I_{и.н}$, А	Номинальная мощность, кВА	Мощность электродвигателя, кВт
EI-7011-075H	3	128	75	55

EI-7011 Преобразователи частоты общепромышленного применения. Новая серия, разработанная на базе самого популярного преобразователя EI-7001.

Широко используются в технологическом оборудовании, где применяется управляемый электропривод: смесителях, дозаторах, производственных линиях, системах водоснабжения, вентиляции, дымососах, подъемно-транспортном и т.п. оборудовании.

Технические характеристики:

- Диапазон мощностей 0,75 кВт - 315 кВт;
- Полная защита двигателя;
- Встроенный ПИД – регулятор;
- Язык команд пульта управления – русский;
- Аналоговые и цифровые входы/выходы для регулирования и дистанционного управления;
- Возможность дистанционного управления и мониторинга по RS-232/RS-485 (прот. MODBUS);
- Питание 380 В, 50 Гц;

Общие технические данные преобразователя частоты EI -7011:

- Максимальное выходное напряжение: Трехфазное 380...460 В (пропорционально входному напряжению);
- Номинальная выходная частота: Вплоть до 400 Гц (достигается посредством программирования);
- Номинальное входное напряжение и частота источника питания: Трехфазное 380...460 В 50/60 Гц;
- Допустимые колебания входного напряжения источника питания: + 10%, 15%;
- Допустимые колебания частоты входного напряжения источника питания: $\pm 5\%$;

Характеристики цепи управления:

- Метод управления: Синусоидальная широтно-импульсная модуляция;
- Диапазон управления по частоте: от 0,1 до 400 Гц;
- Точность частотных режимов: Цифровая команда: $\pm 0,01\%$ (от -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$), Аналоговая команда: $\pm 0,1\%$ (при $25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$);
- Разрешающая способность по частоте: Устанавливается уставкой константы в цифровой форме: 0,1 Гц, Устанавливается в аналоговой форме: 0,1 Гц;
- Разрешение по выходной частоте: 0,1 Гц;
- Запас по перегрузке: 120% от номинального выходного тока в течение 1 мин;
- Аналоговый вход задания частоты: от 0 до + 10 В (20 кОм), от 4 до 20 мА (250 Ом);
- Время разгона/торможения: от 0,0 до 3600 с (времена разгона/торможения имеют независимые уставки);
- Тормозящий крутящий момент: Порядка 20% без тормозного резистора, с внешним тормозным резистором - 100 %;
- Тормозной прерыватель:
- Встроен в преобразователь (для моделей до 15 кВт включительно);
- Внешний тормозной прерыватель (18,5 ... 315 кВт);

Защитные функции:

- Кратковременное отключение питания:
- Немедленное отключение выходного силового напряжения при кратковременном прекращении подачи питания на 15 мс и более (заводское значение). Возможно возобновление управления после возобновления подачи напряжения при его прекращении на время не более 2 с (от 0,75 до 75 кВт);
- Немедленное отключение выходного силового напряжения при прекращении подачи питания (от 93 до 315 кВт);
- Перегрев радиатора-теплоотвода: Защищен термистором;

- Предотвращение срыва вращения: Предотвращение срыва во время разгона/торможения и вращения с постоянной скоростью;
- Защита от токов утечек: Защищен электронной цепью (нарушение баланса выходных токов);
- Индикация заряда шины: Световой индикатор "Заряд" горит, пока напряжение шины не упадет ниже 50 В;

Окружающая среда:

- Температура окружающей среды:
- от - 10°C до + 40°C (для исполнения в пластмассовом корпусе);
- от - 10°C до + 45°C (для исполнения в металлическом корпусе);
- Влажность: Относительная влажность не более 90%;
- Температура хранения: от - 20°C до + 60°C;
- Предназначен для эксплуатации: Внутри помещения , защищенного от коррозионных газов и пыли;
- Высотность: Не более 1000 м;
- Вибрация: от 9,81 м/с² (1g) при менее, чем 20 Гц , до 1,96 м/с² (0,2g) от 20 до 50 Гц;

Схема подключения преобразователя частоты приведена на рисунке 28.

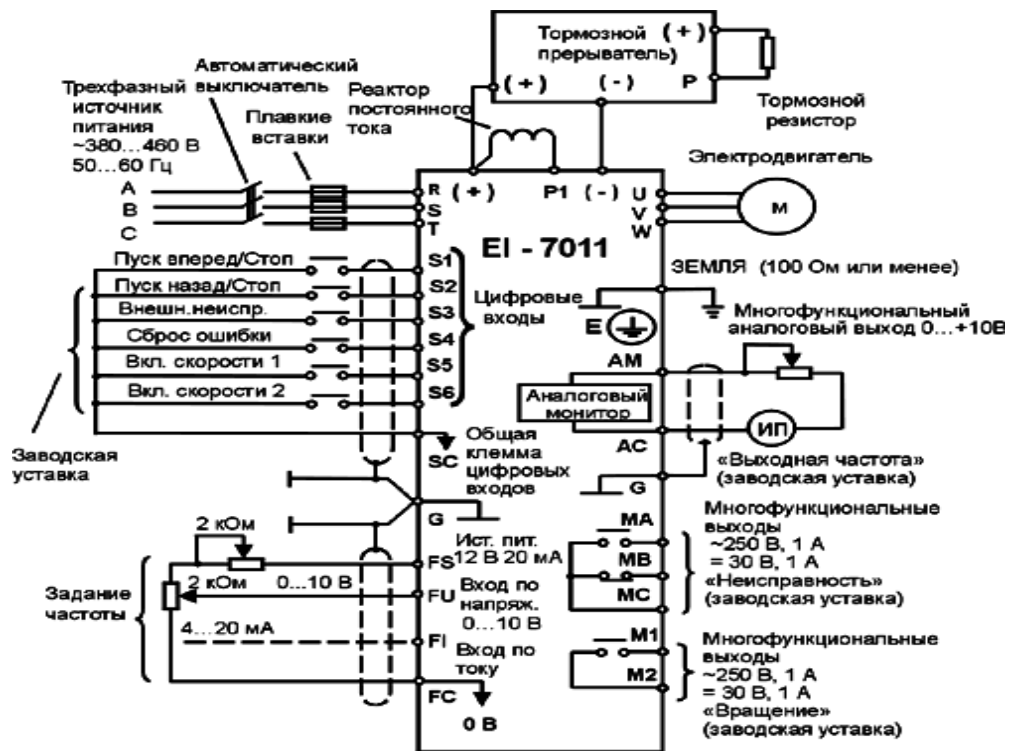


Рисунок 28 – Схема подключения преобразователя частоты

4.2. ВЫБОР ЗАКОНА ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

С учетом того, что диапазон регулирования скорости вентиляторов невелик и механизмы такого класса не требуют обеспечения высокой кратности пускового и максимального моментов, в качестве законов регулирования U_1/f_1 могут быть приняты законы $U_1/f_1 = const$ и $U_1/f_1^2 = const$. Последний является более сложным в реализации, но за счет дополнительного снижения напряжения позволяет уменьшить потребляемую из сети энергию. Для повышения пускового момента на малых скоростях до требуемых значений должна быть предусмотрена возможность настройки вольт-частотной характеристики. Определяя параметры вольт-частотной характеристики, нижним частотам ставят в соответствие значения напряжений выше, чем при выбранном законе регулирования.

4.2.1. Механические характеристики системы преобразователь – двигатель при законе $U_1/f_1^2 = const$.

Вольт – частотная характеристика преобразователя при законе регулирования $U_1/f_1^2 = const$, рассчитывается по выражению (49)

$$U_1(f_1) = U_{1\phi H} \times \frac{f_1^2}{f_{1H}^2}, \quad (49)$$

Механические характеристики $\omega(M)$ разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = const$ для ряда выбранных значений выходной частоты инвертора в интервале от 5 до 50Гц рассчитывается по выражениям (50):

$$M(s, f_1) = \frac{3U_1^2(f_1)R_2'}{w_0 \times \frac{f_1}{f_{1H}} \times s \times \frac{X_{KH}}{f_{1H}} \times \frac{f_1^2}{f_{1H}^2} + \frac{R_1}{s} + \frac{R_2'}{s} + \frac{R_1 R_2'}{s^2 X_m \times \frac{f_1}{f_{1H}}}}$$
(50)

По результатам расчета на рисунке 29 построена семейства механических характеристик $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при изменении частоты.

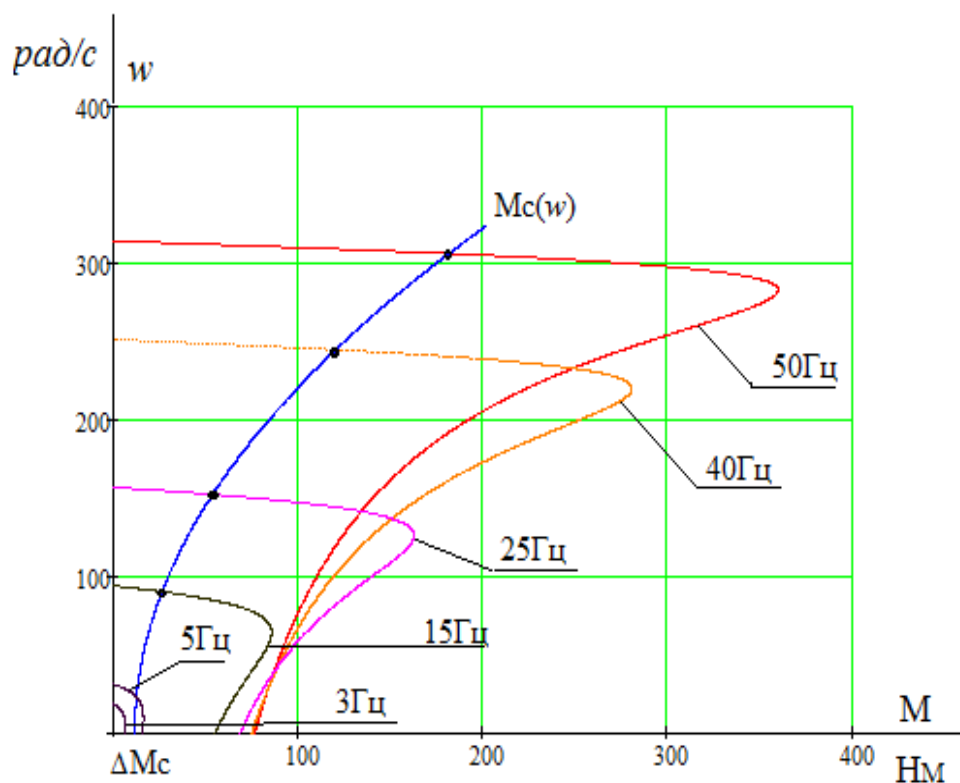


Рисунок 29 – механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при законе $U_1/f_1^2 = \text{const}$.

Анализ приведенных на рисунке механических характеристик электропривода и нагрузки показывает, что при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ не удастся обеспечить пуск электропривода при выборе частоты $f = 3\text{Гц}$.

Для повышения пускового момента на малых скоростях до требуемых значений предусмотрена возможность настройки вольт – частотной характеристики. Определяя параметры вольт – частотной характеристики, нижним частотам ставят в соответствие значения напряжений выше, чем при выбранном законе регулирования.

Вольт – частотная характеристика представлена зависимостью

$$U_1(f_1) = U_{\text{мин}} + (U_{\text{фн}} - U_{\text{мин}}) \times \frac{f_1}{f_{\text{н}}} \div \frac{\sigma}{\sigma_{\text{н}}}$$

и приведена на рисунке (30).

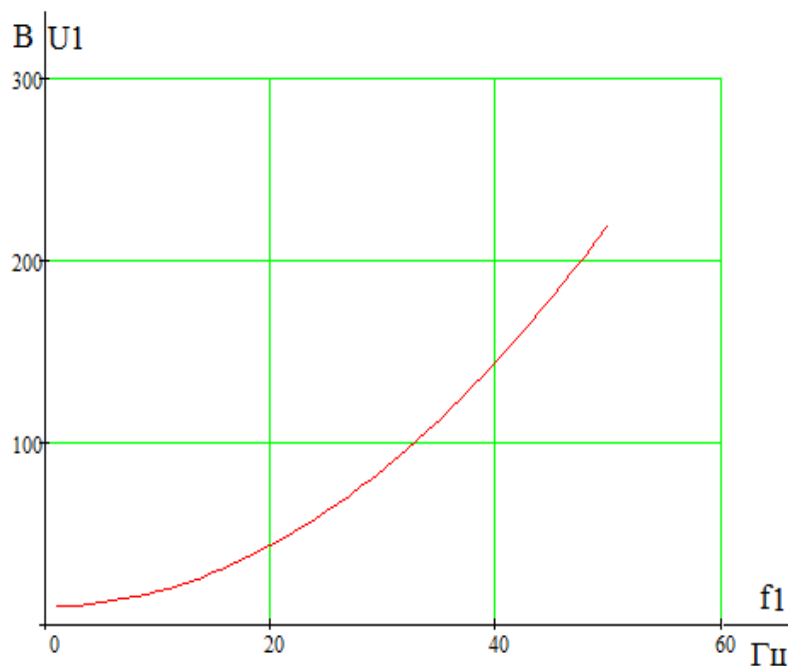


Рисунок 30 – вольт – частотная характеристика преобразователя при законе

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

С целью обеспечения увеличения пускового момента экспериментально выбраны параметры начального участка вольт – частотной характеристики преобразователя. При 3Гц выбрано минимальное напряжение 10В. Механические характеристики системы преобразователь – двигатель, рассчитанные с учетом выбранной настройки вольт – частотной характеристики и ее параметров приведены на рисунке 31.

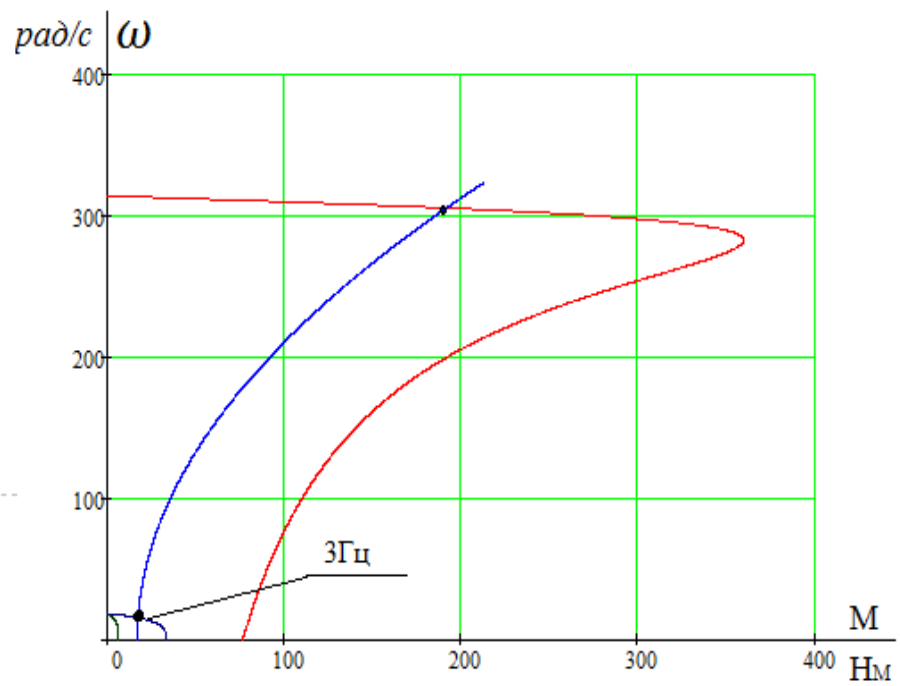


Рисунок 31 - Механические характеристики системы преобразователь – двигатель при настройке вольт – частотной характеристики

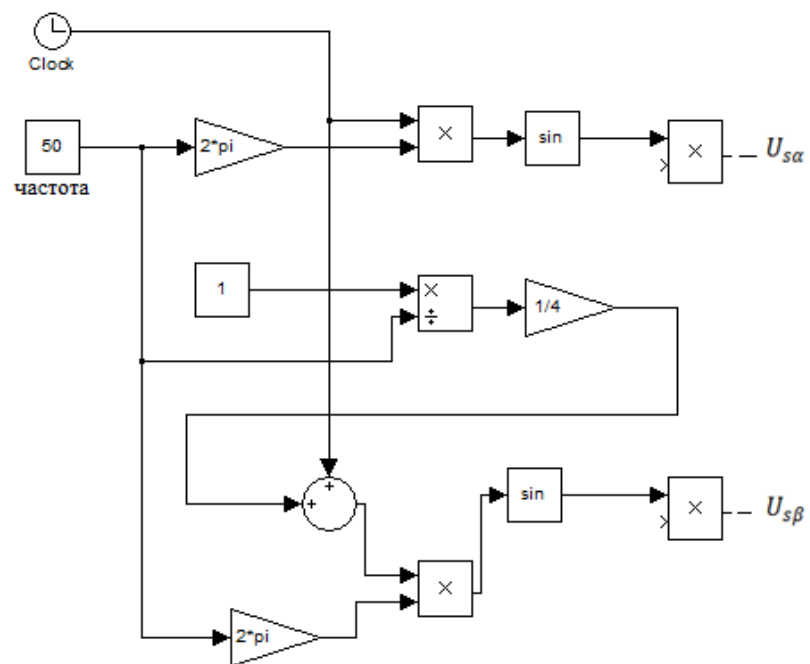


Рисунок 32 - – Имитационная модель подсистемы «Source», представляющей собой источник синусоидальных напряжений, сдвинутых на 90^0 относительно друг друга

4.2.2. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ В НЕПОДВИЖНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ И ВЕНТИЛЯТОРНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ЗАКОНЕ

$$U_1 / f_1^2 = const$$

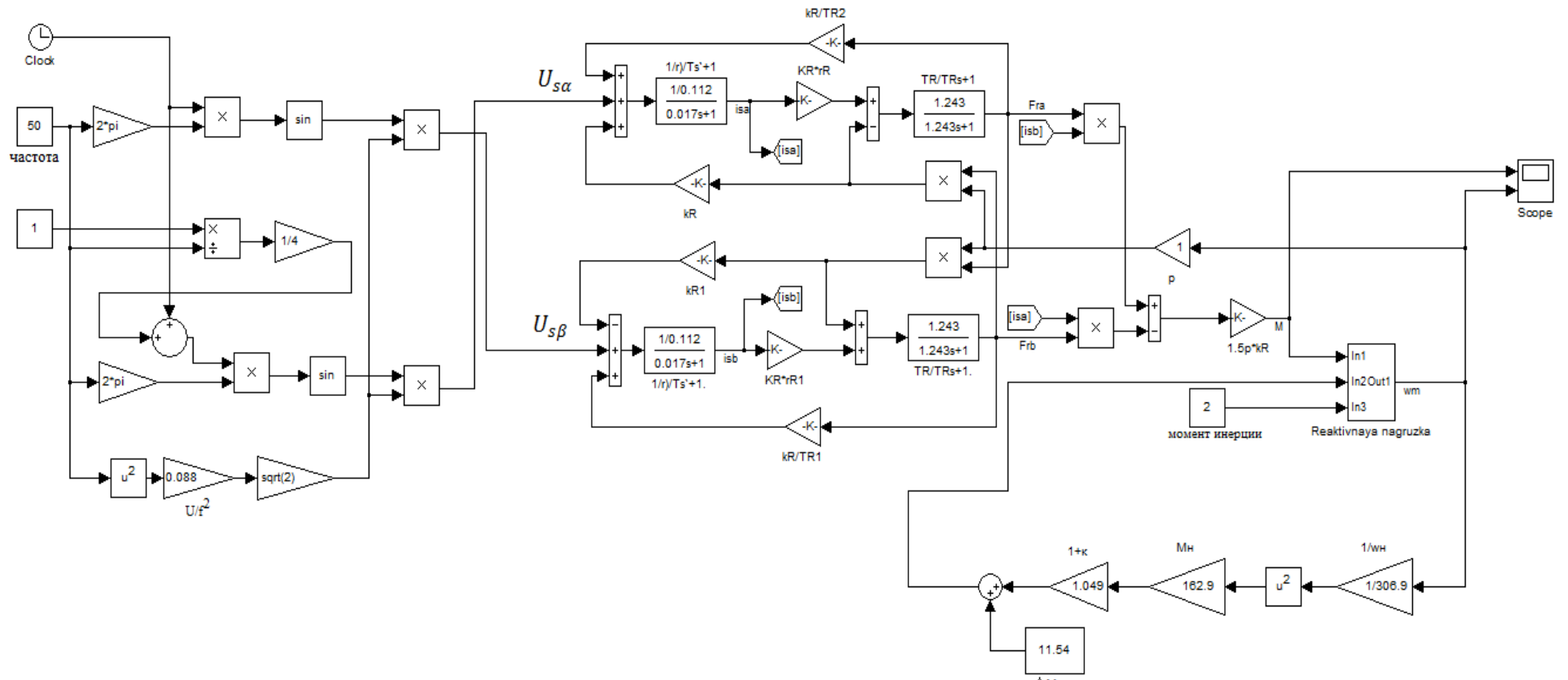


Рисунок 33 - Имитационная модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат и вентиляторной нагрузки.

В неподвижной комплексной системе координат вещественная ось обозначается α , а мнимая β .

$$U_{s\alpha} = \sin(\omega t + 90^\circ)$$

$$U_{s\beta} = \sin \omega t \quad (52)$$

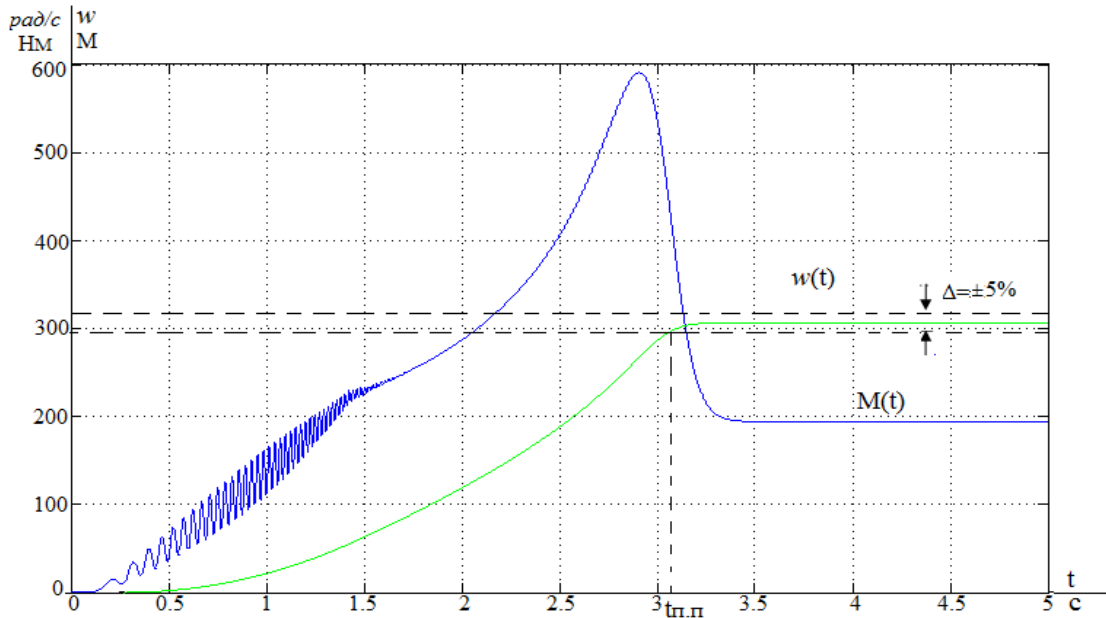


Рисунок 34 - Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой при законе $U_1/f_1^2 = \text{const}$ при частоте 50 Гц

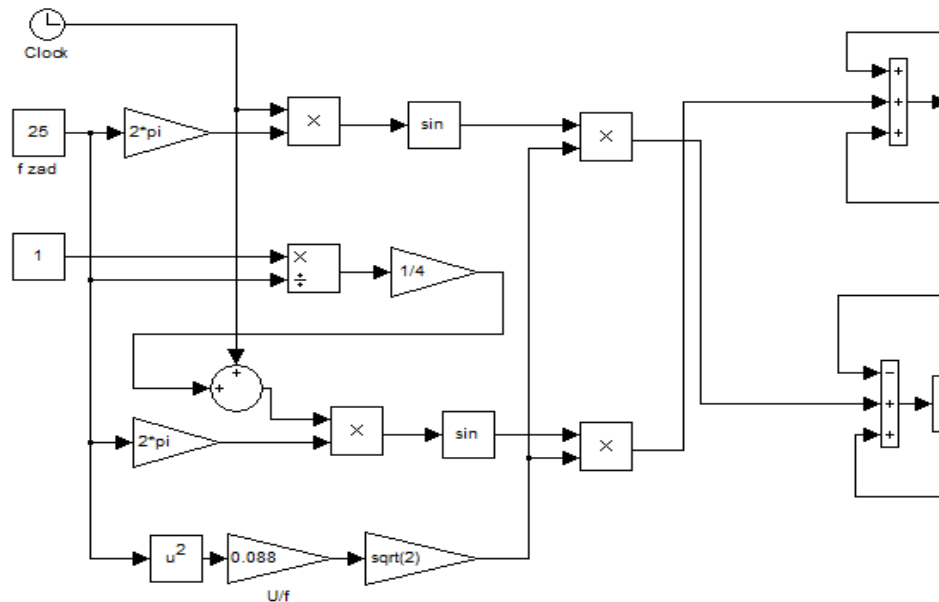


Рисунок 35 – снижение частоты до 25 Гц при законе $U_1/f_1^2 = \text{const}$ в подсистеме «Source»

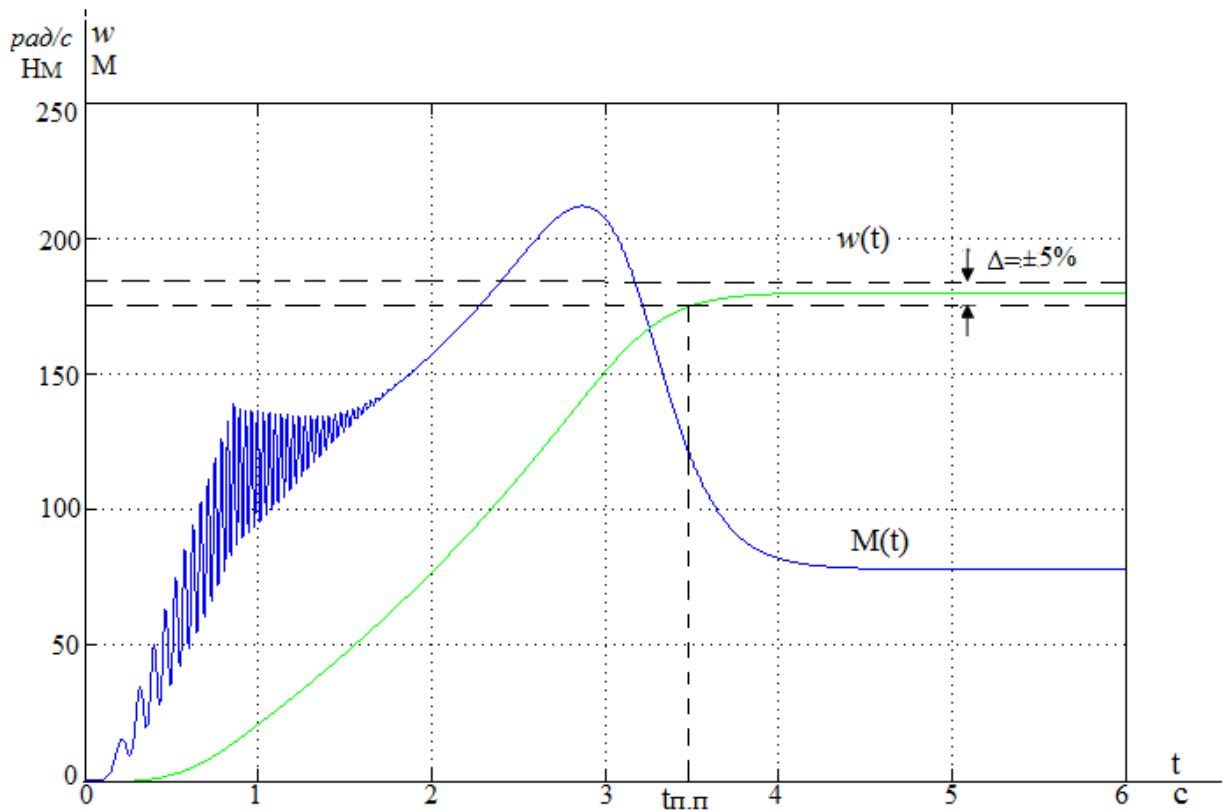


Рисунок 36 - Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой

при законе $U_1/f_1^2 = \text{const}$ при частоте 25 Гц

Как было показано выше (рисунок 29), при таком законе при малых частотах (3Гц) не обеспечивается пуск электропривода. Следовательно, применяем данную настройку вольт – частотной характеристики.

Вольт – частотная характеристика :

$$U_1(f_1) = U_{\text{мин}} + (U_{\text{фн}} - U_{\text{мин}}) \times \frac{f_1}{f_{\text{фн}}} \quad (53)$$

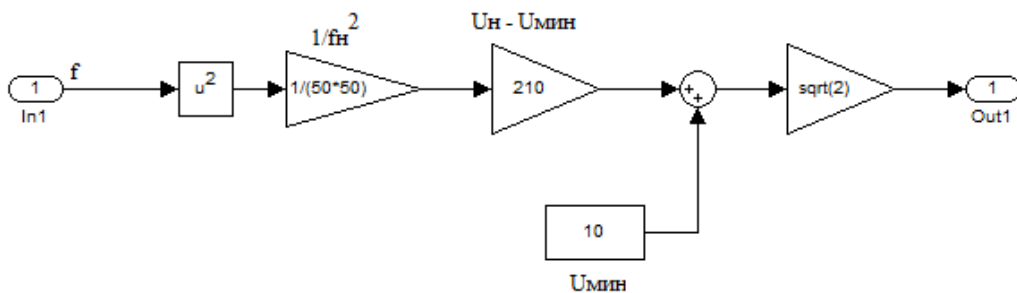


Рисунок 37 - имитационная модель вольт частотной характеристики.

4.2.3. Структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат и вентиляторной нагрузки при настройке вольт – частотной характеристики

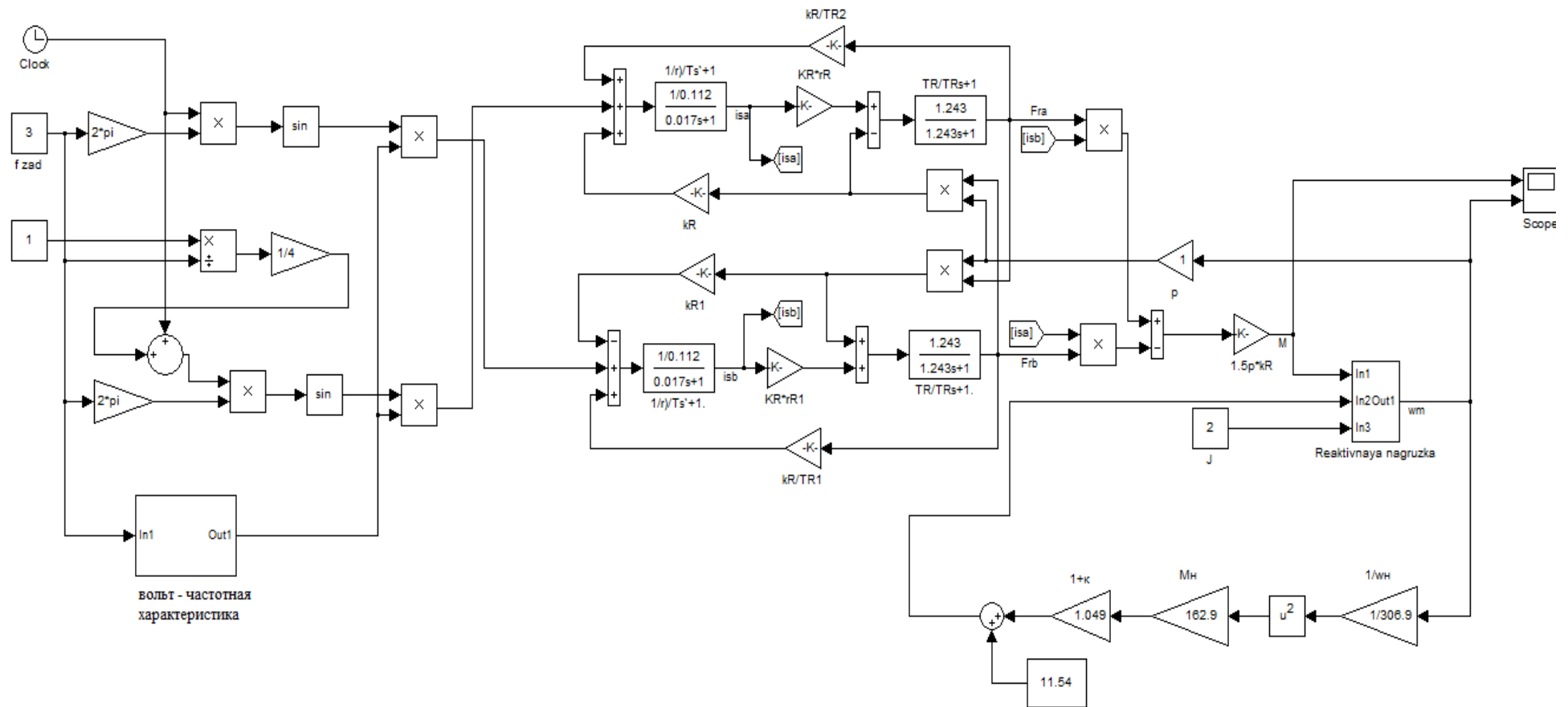


Рисунок 38 - Имитационная модель АКЗ в неподвижной системе координат и вентиляторной нагрузки при настройке вольт частотной характеристики

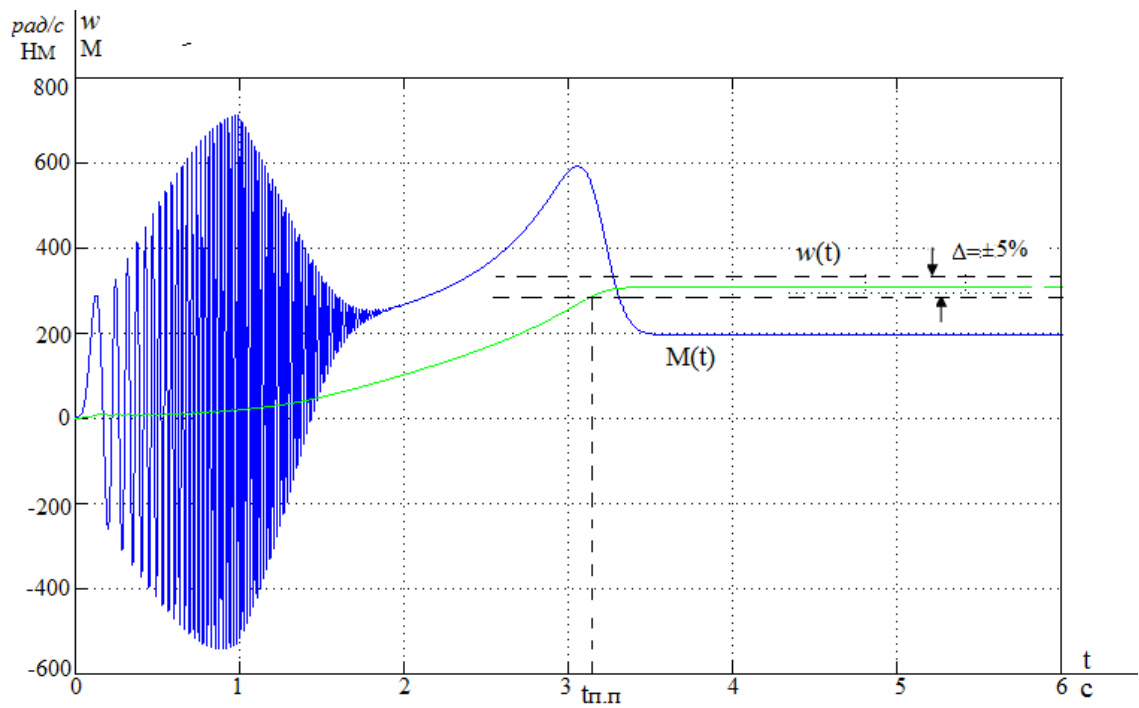


Рисунок 39 – Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой при настройке вольт – частотной характеристики при частоте 50 Гц

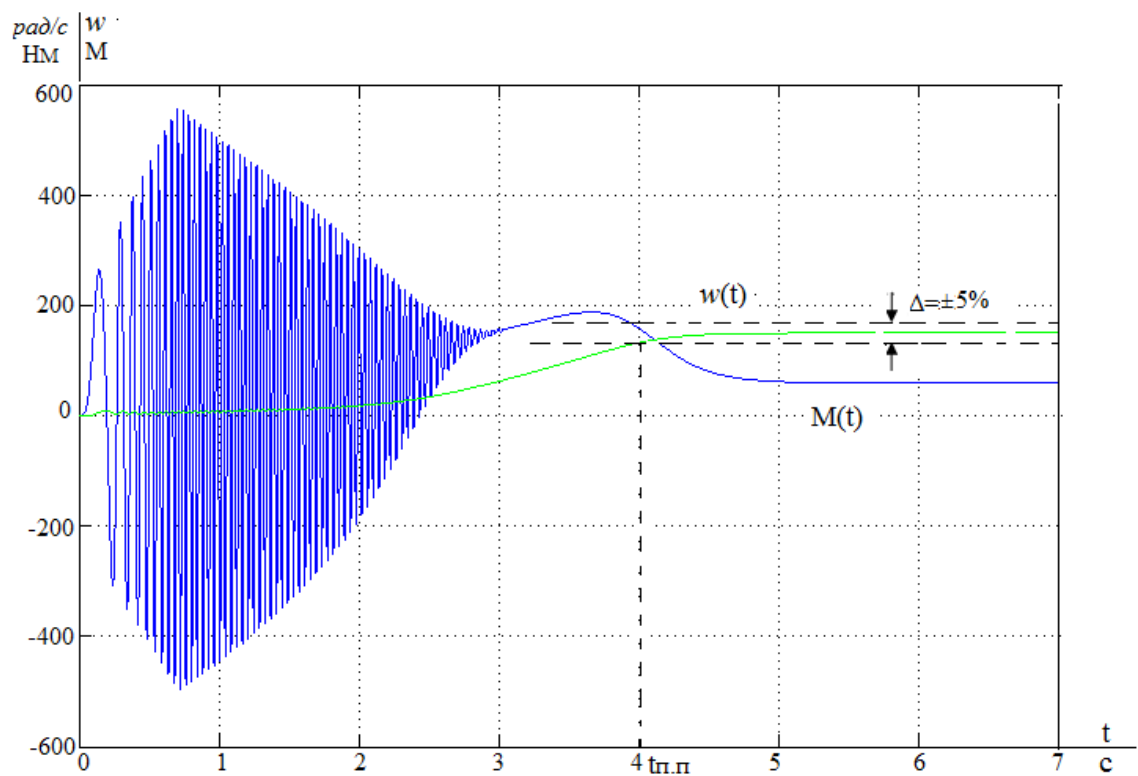


Рисунок 39 – Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой при настройке вольт – частотной характеристики при частоте 15 Гц

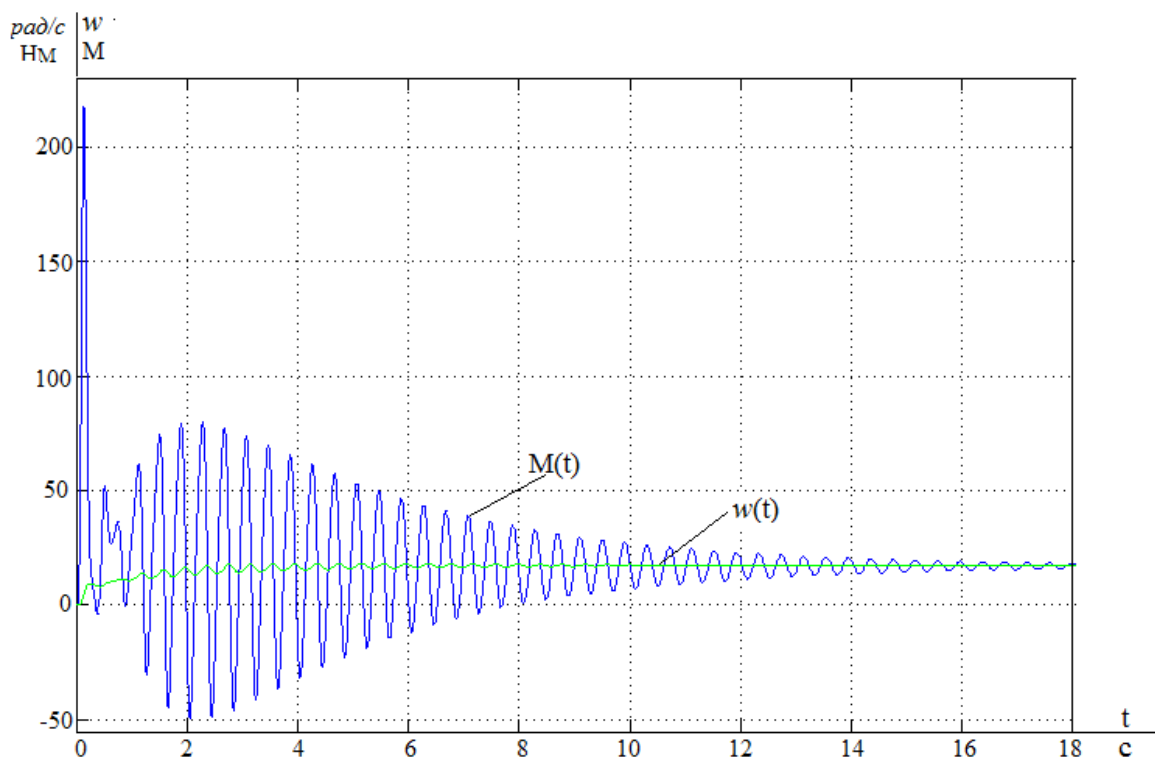
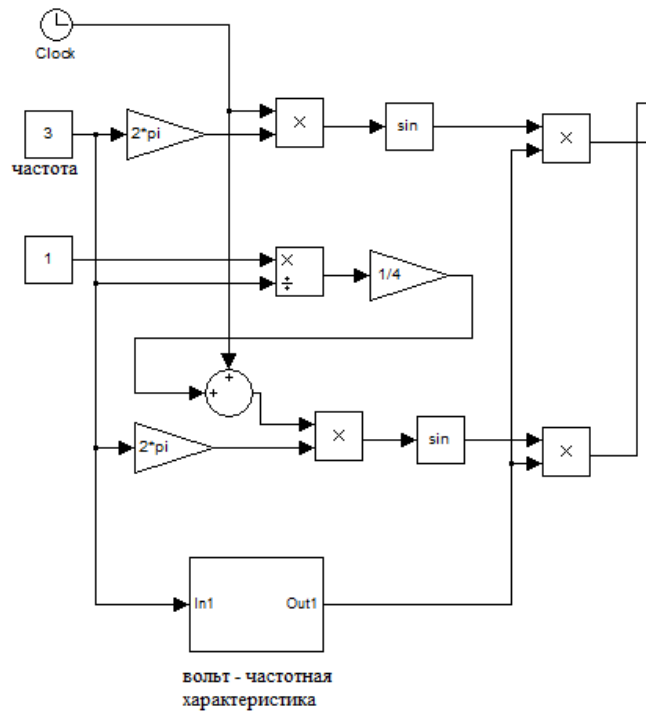


Рисунок 40 - Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой при настройке вольт – частотной характеристики при частоте 3 Гц

На рисунке приведены переходные характеристики скорости и момента асинхронного электродвигателя при 3 Гц, показывающие пуск двигателя после настройки вольт – частотной характеристики.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Лебедев Денис Андреевич

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость затрат технического проекта</i>	В техническом проекте были задействованы 2 человека (руководитель, дипломник). Затраты на материальные ценности определяются согласно прейскуранта. Заработная плата рассчитывается в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. <i>Продолжительность выполнения</i>	Приблизительная оценка продолжительности выполнения технического проекта определяется исходя из ожидаемой трудоёмкости работ.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Планирование и формирование графика работ по реализации технического проекта</i>	Для составления графика по проектированию асинхронного электропривода шахтного вентилятора <ul style="list-style-type: none"> • 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. <i>Формирование сметы технического проекта</i>	В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям: <ul style="list-style-type: none"> • материальные затраты; • полная заработная плата исполнителей; • отчисления во внебюджетные фонды; • накладные расходы
3. <i>Ресурсоэффективность технического проекта</i>	Оценка эффективности проекта производится с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Лебедев Денис Андреевич		

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

Целью данного раздела является проектирование и создание технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования. В данном разделе рассчитывается сумма затрат на проектирование асинхронного электропривода шахтного вентилятора, и сумма затрат на покупку оборудования для реализации проекта.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка технического проекта при помощи SWOT-анализа;
- расчет затрат на проектные работы электропривода шахтного вентилятора;
- планирование проектно-конструкторских работ;
- определение ресурсной эффективности проекта.

5.1 Swot-анализ по разработке проекта асинхронного электропривода шахтного вентилятора.

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 шахтного вентилятора, 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 10

Таблица 10- Матрица SWOT-анализа технического проекта.

	Сильные стороны проекта: С1. Высокое качество питающего напряжения С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации С3. Большая экономия потребляемой эл.энергии С4. Квалифицированный персонал С5. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание Оборудования	Слабые стороны проекта: Сл1. Повышенный уровень шума Сл2. Аварийные ситуации Сл3. Значительная стоимость оборудования
Возможности: В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	V1 C1C2C3C4	V1 Сл2Сл3;
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	V2 C2C4C5	V2 Сл1Сл2
В3.Резервное питание электропривода шахтного вентилятора	V3 C1C2C4C5	V3 Сл2Сл3.
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	V4 C1C3C5	
Угрозы: У1. Развитая конкуренция технологии производства	У1 C5	У1 Сл3
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	У2 C5	
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 11 и 12.

Таблица 11 – Интерактивная матрица возможностей.

Возможности	Сильные стороны проекта				
	С1. Высокое качество питающего напряжения	С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации	С3. Большая экономия потребляемой эл.энергии	С4. Квалифицированный персонал	С5. 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 шахтного вентилятора	+	+	-	+	+
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	+	-	+	-	+

Возможности	Сильные 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 шахтного вентилятора	-	+	+
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	-	-	-

Таблица 12 – Интерактивная матрица угроз.

Угроза	Сильные стороны проекта				
	С1. Высокое качество питающего напряжения	С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации	С3. Большая экономия потребляемой эл.энергии	С4. Квалифицированный персонал	С5. 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	-	-	-	+	-

Угроза	Сильные 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 несвоевременное 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.

5.2 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.

5.2.1. 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 семейства механических ω ($M_{эм}$) и электромеханических ω (I_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, студент осуществляет защиту своей работы.

5.2.2 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. Методика оценки приведена в [14].

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости i тож используется следующая формула

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

где $t_{ож\ i}$ – 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.

Результаты расчетов продолжительности выполнения работ приведены в таблице 13

Таблица 13 – Расчет продолжительности выполнения работ, раб.дн.

№ этапа работы	Вид работ	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i ой работы,	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i ой работы	Ожидаемая трудоемкость выполнения одной работ
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	1	1
2	Сбор и изучение литературы	Дипломник	6	10	8
3	Сбор исходных данных	Дипломник	6	10	8
4	Подготовка для ввода в базу	Дипломник	6	10	8
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	12	14	13
		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

Подэтапы	Исполнители	Раб.дни	Продолжительность выполнения работ										
			Март	Апрель			Май			Июнь			
			3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1. Составление ТЗ	Руководитель	1	■										
2. Сбор и изучение литературы	Дипломник	8		■									
3. Сбор исходных данных	Дипломник	8			■								
4. Подготовка для ввода в базу	Дипломник	8			■								
5. Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	13				■							
	Руководитель	1					■						
6. Выбор оборудования	Дипломник	3					■						
7. Расчет и проверка модели АД	Руководитель	13						■					
	Дипломник	1							■				
8. Расчет и проверка АД-ПЧ	Дипломник	13								■			
	Руководитель	1									■		
9. Оформление пояснительной записки	Дипломник	7									■		
	Руководитель	2										■	
10. Сдача технического проекта	Дипломник	1											■
	Руководитель	1											■

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. [15]

Исходя из диаграммы продолжительности работ, определяется участие каждого специалиста рабочей группы в разработке проекта: руководитель 7 дней, дипломник 74 дня.

5.3 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:

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

5.3.1 Затраты на специализированное оборудование

Стоимость специализированного оборудования шахтного вентилятора приведена в таблице 14.

Таблица 14 Стоимость специализированного оборудования. [10]

Наименование оборудования	Количество, шт.	Цена, руб.
Вентилятор ВМЭ-8 (660/1140)	1	324407
Преобразователь частотный EL-7011-075H	1	35200
Электродвигатель ВРМ 200L2E2,5	1	118600
Итого		478207

Первоначальная стоимость оборудования рассчитывается по формуле:

$$C_{OB} = Ц * k_{тр}$$

где: C_{OB} - первоначальная стоимость оборудование

Ц - цена оборудование

$k_{тр}$ - коэффициент на транспортные расходы 11%

$478207 * 1,11 = 530$ тыс. руб.

5.3.2 Полная заработная плата исполнителей ВКР

В этом разделе включена 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.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_p,$$

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

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн. (таблица 1.6).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{тс} + Z_{р.к}}{F_d},$$

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

$Z_{\text{допл}}$ – доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{\text{р.к}}$ – районная доплата, руб

$F_{\text{д}}$ – количество рабочих дней в месяце, раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 15.

Таблица 15– Расчёт основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Оклад	Районная доплата, руб.	Зарплата месячная, руб	Среднедневная заработная плата в день, руб	Продолжительность работ, раб. дн	Основная заработная плата, руб
Руководитель	33664	10099	43758	1683	7	11781
Дипломник	12300	3690	15990	615	74	45510
Итого $Z_{\text{осн}}$, руб.						57291

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

Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 16.

Таблица 16. – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб
Руководитель	0,15	11781	1767	13500
Дипломник	0,12	45510	5461	51000
Итого		57291	7228	64500

5.3.3 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: [13]

$$З_{внеб} = k_{внеб} * (З_{осн} + З_{доп}),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 64,5 = 19,5 \text{ тыс. руб.}$$

5.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = (\text{затраты на тех.проект}) * k_{нр},$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы [14].

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

5.3.5 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции [15].

Определение затрат на технический проект приведен в таблице 17

Таблица 17 – Смета технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс.руб.	Стр-ра затрат
1. Материальные затраты ТП	530	72,6
2. Полная заработная плата исполнителей темы	64,5	8,8
3. Отчисления во внебюджетные фонды	19,5	2,6
4. Накладные расходы	116	16,0
5. Итого	730	100,0

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 74 раб. дня для дипломника и 7 для руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 730 тыс.руб., из которых большая часть (72,6 %) составляют затраты на спецоборудование.

5.4. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности: [34]

$$I_{pi} = \sum a_i \times b_i$$

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 асинхронного электропривода шахтного вентилятора рекомендуется рассмотреть следующие критерии:

- Надежность шахтного вентилятора – это длительный эксплуатационный ресурс (в частности, в условиях рудничной атмосферы, не стабильным напряжением и высокой влажности). 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 шахтного вентилятора – это экономия электрической энергии. Энергосбережение достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей, использование частотно-регулируемого привода.

- Материалоемкость шахтного вентилятора – это показатель расхода энергии для работы в номинальном режиме. При проектировании шахтного вентилятора нужно учитывать, что его работа является непрерывно-постоянной и остановки производить только для его обслуживания. Поэтому подбор осуществлялся таким образом, что при тех же условия подобрать вентилятор который бы расходовал меньше энергии.

- Производительность шахтного вентилятора – должна обеспечить проветривание шахты или ее часть необходимым количеством воздуха и компенсировать утечки через вентиляционные каналы установки. Производительность достигается за счет правильного расчета и подбора вентилятора для тех условий в которых он будет работать, и использование качественных материалов на вентиляционные каналы во избежание не нужных утечек.

- Удобство – это возможность лёгкой настройки, монтажа и демонтажа шахтного вентилятора. Удобство монтажа и демонтажа осуществляется в отсутствие большого количества резьбовых соединений, в данной конструкции используются клиновые зажимы, а легкость в настройке и управлении обеспечит частотный преобразователь

- 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 18.

Таблиц 18– Сравнительная оценка характеристик проекта.

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

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

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале) 4,6, что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и энергосбережение позволяют судить о качественной сборке системы.

В данном разделе выпускной квалификационной работы были рассмотрены, раскрыты и рассчитаны следующие вопросы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены как сильные, так и слабые стороны технического проекта. В таких случаях используют интерактивные матрицы возможностей и угроз. Анализ данных матрицы, установил, что соответствия угроз с сильными и слабыми сторонами имеют низкую вероятность, что нельзя сказать о возможностях. В итоге следует, что данный технический проект имеет несколько важных преимуществ, таких как высокая безопасность производства и энергоэффективность, которые обеспечат повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства;
- при планировании технических работ была составлена ленточная диаграмма Ганта. Данная диаграмма позволяет оптимально спланировать время работы исполнителей проекта (руководителя и дипломника);
- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта. По этим

данным можно определить, стоит ли проводить дополнительные мероприятия по оптимизации затрат на проект или нет;

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

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 3-5Г4А1	ФИО Лебедев Денис Андреевич
--------------------------	---------------------------------------

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: «Шахтный вентилятором с асинхронным электроприводом»

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Рабочее место инженера-проектировщика, оборудованное ПК рабочий кабинет в комбинате шахты.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	- Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны, где производится работа за ПЭВМ
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды. 2.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.	Основными вредными факторами являются: - Отклонение показателей микроклимата; - Шум; - Недостаточная освещенность рабочей зоны; - Психозоциональное напряжение. Анализ следующих опасных факторов: - Поражение электрическим током. - Пожары
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия на литосферу: образование отходов.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее типичная ЧС для рассматриваемого объекта – пожар. Разработка мер по предупреждению ЧС, действий во время ЧС и для ликвидации её последствий.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	- Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

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
3-5Г4А1	Лебедев Денис Андреевич		

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

На основе новейших научно-технических достижений, передового отечественного и зарубежного опыта проектирования, строительства и эксплуатации объектов и с использованием средств автоматизации проектирования инженер – проектировщик разрабатывает отдельные разделы (части) проекта. Принимает участие в подготовке заданий на разработку проектных решений. Участвует в сборе исходных данных для проектирования, в решении технических вопросов по закрепленным объектам на протяжении всего периода проектирования, монтажа, ввода в действие объекта и освоения проектных мощностей. Увязывает принимаемые проектные решения с проектными решениями по другим разделам (частям) проекта. Обеспечивает соответствие разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам по проектированию и монтажу, а также заданию на их разработку. Участвует в анализе и обобщении опыта разработки проектов и их реализации в монтаже и на этой основе готовит предложения о целесообразности корректировки принятых общих и принципиальных проектных решений.

Так как в своей трудовой деятельности инженер – проектировщик занимается сбором, подготовкой и обработкой информационных данных, следовательно, большую часть своего рабочего времени он проводит за ЭВМ, в результате чего на него воздействуют вредные производственные факторы, которые влияют на его функциональное состояние и работоспособность. Воздействие вредного производственного фактора в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению работоспособности.

В настоящее время в производстве, научно-исследовательских и конструкторских работах, сфере управления и образования персональные ЭВМ (ПЭВМ) находят большое применение. Однако компьютер – не только квалифицированный помощник, но и источник вредного воздействия на организм человека, а, следовательно, источник профессиональных

заболеваний. Это предъявляет к каждому пользователю персонального компьютера требование – знать о вредном воздействии ПЭВМ на организм человека и необходимых мерах защиты от этих воздействий.

В данном разделе дипломной работы речь пойдет об исследовании условий труда инженера-проектировщика. В этом случае объектом исследования выступает как рабочее место инженера, так и помещение, в котором находится его рабочее место.

Данный раздел призван выявить и проанализировать опасные и вредные производственные факторы при работе с видеодисплейными терминалами (ВДТ) и ПЭВМ. Ставятся задачи определения необходимых мер защиты от этих факторов проектировщика и оператора ПЭВМ, оценки условий труда, микроклимата рабочей среды и предоставления рекомендаций по созданию оптимальных условий труда. Рассматриваются вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды. Объектом исследования является рабочее место и помещение, в котором оно находится.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Рабочие места операторов ЭВМ необходимо размещать с противоположной стороны шумных агрегатов вычислительных машин; они должны иметь естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место должна быть не менее $6,0 \text{ м}^2$, а объем не менее $24,0 \text{ м}^3$. В силу того, что помещение предназначено для интенсивной, напряженной и сосредоточенной работы, при окрашивании офисного помещения необходимо использовать успокаивающие цвета. Помещение, в котором выполнялась дипломная работа, имеет следующее цветовое решение: стены окрашены в бежевый цвет, столы произведены из прессованных опилок и оклеены декоративной бумагой, потолок побелен.

Конструкция рабочего стола обеспечивает оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и

конструктивных особенностей (размер ПК), характера выполняемой работа. Конструкция рабочего стула (кресла) обеспечивает поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПК, позволяет изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Основные требования к размерам и конструкции рабочего стула приведены в ГОСТ 12.2.032-92.

Для предупреждения развития переутомления обязательными мероприятиями являются:

- проведение упражнений для глаз через каждые 20-25 минут работы за компьютером;
- подключение таймера к ПК или централизованное отключение свечения информации на экранах видеомониторов с целью обеспечения нормируемого времени работы на ПК;
- проведение во время перерывов сквозного проветривания помещений с компьютерами.

Кабинет где был разработан дипломный проект, принадлежит к категории помещений без повышенной опасности по степени вероятности поражения электрическим током, вследствие этого к оборудованию предъявляются следующие требования:

- Экран видеомонитора должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя (расстояния от источника);
- Применение приэкраных фильтров, специальных экранов.
- Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

6.2 Производственная безопасность.

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ					Нормативные документы
	Разр аботка	Изго товление	Эксп луатация			
1.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]
2.Психоэмоциональное положение				+		Психические свойства и уровни психоэмоционального напряжения человека в системе "человек – машина – окружающая среда": МУ"Безопасность жизнедеятельности /Сост.: Д.С. Алешков, С.А. Гордеева, В.В. Исаенко. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2004. – 24 с
3.Отклонение показателей микроклимата				+		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]
4.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]

6.2.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.

Микроклимат помещений.

Для создания нормальных условий труда в производственных помещениях должны обеспечиваться нормативные значения параметров микроклимата СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Микроклимат помещений для лёгкой категории работ, 1а включает определённую температуру и влажность. Нормы метеорологических условий учитывают время года и характер производственного помещения.

Холодный период года:

- Температура воздуха 22 – 24 °С;
- Относительная влажность 40 – 60%;
- Скорость движения воздуха – не более 0,1 м/с.

Теплый период года:

- Температура воздуха 23 – 25 °С;
- Относительная влажность 40 – 60%;
- Скорость движения воздуха – не более 0,1 м/с.

Рассматривая вопросы охраны труда людей, работающих в кабинете производственного комбината, нельзя обойтись без рассмотрения вопроса вентиляции помещения.

Количество приточного воздуха при естественном проветривании должно быть не менее 30 м³/ч на одного человека, при объёме помещения приходящегося на него менее 20 м³. В исследуемом помещении имеется 9 рабочих мест, объём помещения составляет 29,25 м³, следовательно, на одного работающего приходится приблизительно 3,25 м³, что не обеспечивает выполнение санитарных норм (Свод правил СП 60.13330.2012 "СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха" (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 30 июня 2012 г. N 279)». Для создания поддержания в помещении независимо от наружных условия оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы.

Рекомендуется установить в кабинете кондиционер для автоматического поддержания оптимальных норм микроклимата в теплое время года. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Системы вентиляции, кондиционирования и отопления помещения должны соответствовать СНиП 2.04.05-91 "Отопление, вентиляция и кондиционирование

Производственный шум.

Шумы оказывают на организм человека такие действия как: снижение остроты слуха; повышение кровяного давления; нарушение ритма сердечной деятельности; ухудшение памяти; снижение производительности труда.

Шумы на рабочих местах нормируются по ГОСТ 12.1.003-99.

Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука представлены в таблица 19.

Таблица 19

Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Конструкторские бюро, программисты, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50	

Для уменьшения шума и вибраций в помещениях вычислительных центров оборудование и приборы необходимо устанавливать на специальные фундаменты и амортизирующие прокладки, описанные в нормативных документах. Снизить уровень шума в помещениях с ПК можно также использованием звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63 - 8000 Гц для отделки помещений (разрешенных органами и учреждениями Госсанэпиднадзора), подтвержденных специальными акустическими расчетами. По характеру спектра в помещении присутствуют широкополосные шумы. Источник шумов – электродвигатели в системе охлаждения и вентиляции машин. Допустимый уровень шумов для помещений компьютерных залов 50 Дб. Защита от шумов – заключение вентиляторов в защитный кожух и установление их внутри корпуса ЭВМ.

Вибрация оборудования на рабочих местах не должна превышать допустимых величин, установленных ГОСТ 12.1.012-96. Допустимый уровень звукового давления, звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах должны отвечать требованиям ГОСТ 12.1.036-96.

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

Нормирование освещенности производится в соответствии со СП 52.13330.2016 кабинет относится к первой группе, т. е. помещение, в котором производится различение объектов зрительной работы при фиксированном направлении линии зрения. Нормированное значение освещенности рабочей поверхности для данной группы помещений составляет 300 лк.

Требования к освещению ряда производственных помещений представлены в таблица 20.

Таблица 20 Нормируемые параметры естественного и искусственного освещения.

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г – горизонтальная, В - вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение		
		КЕО e_n , %		КЕО e_n , %		Освещенность, лк		
		при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при комбинированном освещении		при общем освещении
1	2	3	4	5	6	7	8	
Помещения для работы с дисплеями и видеотерминалами, залы ЭВМ	Г-0,8 Экран монитора: В-1,2	3,5 -	1,2 -	2,1 -	0,7 -	500 -	300 -	400 200

Для обеспечения требуемого освещения произведем расчет искусственной освещенности. Искусственное освещение устраивается во всех основных и вспомогательных помещениях в соответствии со СП 52.13330.2016.

Помещение, в котором проводилась дипломная работа, имеет следующие параметры: ширина – 4,5 м, длина – 6,5 м, тогда его площадь составит 29,25 м². В качестве источников искусственного освещения в лаборатории используются люминесцентные лампы типа ЛБ. Световой поток

лампы типа ЛБ при напряжении питающей сети 220 В и мощности 40 Вт, составляет 248 лк.

Согласно санитарно-гигиеническим требованиям рабочее место инженера-программиста должно освещаться естественным и искусственным освещением. По нормам освещенности, СП 52.13330.2016 и отраслевым нормам освещенности в лабораториях при работе с экраном дисплея и в сочетании с работой над документами над документами рекомендуется освещенность 300 лк при общем освещении.

Затем определяем тип светильников: ОДР-2 общего освещения люминесцентные диффузорные с решеткой, прямого света. Свес светильника рекомендуется делать от 0,5-0,7 м.

Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами:

H – высота помещения; h_c – расстояние светильников от перекрытия (свес); $h_n = H - h_c$ – высота светильника над полом, высота подвеса; h_p – высота рабочей поверхности над полом; $h = h_n - h_p$ – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью.

Принимаем высоту свеса светильника $h_c = 0,5$ м и высоту рабочей поверхности $h_p = 0,7$ м. Тогда высота подвеса светильника h_n над рабочей поверхностью равна: $h_n = H - h_c - h_p$, где H – высота помещения (3,5 м).
 $h_n = 3,5 - 0,5 - 0,7 = 2,3$ м.

Световой поток лампы накаливания или группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi = E_n SK_3 Z / n \eta ,$$

где E_n – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, (500 лк);
 S – площадь освещаемого помещения, m^2 ; K_3 — коэффициент запаса учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т.е. отражающих поверхностей), (наличие в атмосфере цеха дыма, пыли); Z - коэффициент неравномерности освещения, отношение

E_{cp} / E_{min} . (для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1); n - число светильников; η - коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность (из таблицы принимаем равным 0,63). Он зависит от индекса помещения i , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью h и коэффициентов отражения стен p_c и потолка p_n .

$K_3 = 1,5$ для помещения при нормальной эксплуатации светильников с люминесцентными лампами (для помещений с малым выделением пыли).

Для создания благоприятных зрительных условий на рабочем месте, для борьбы со слепящим действием источников света введены требования ограничения наименьшей высоты светильников над полом; L – расстояние между соседними светильниками или рядами, l – расстояние от крайних светильников или рядов до стены. Оптимальное расстояние l от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным $L/3$.

Для определения Z нужно знать отношение между величинами: h_n и L . С учетом, что $L / h_n = 1,6$, получим $Z = 1,1$.

Светильники расположены в два ряда по три лампы в каждом ряду, причем в каждом из 3-х светильников по две люминесцентных лампы, т.е. $N=6$. зависит от типа светильника, коэффициента отражения светового потока от стен p_1 , потолка p_2 , пола p_3 , а также геометрических размеров помещения и h_n — высоты подвеса светильников от рабочей поверхности, что учитывается величиной i — индексом помещения. Индекс помещения определяется по формуле

$$i = S / h_n (A + B);$$

Следовательно, величина коэффициента помещения составит:

$$i = 29,25 / 2,3 * (4,5 + 6,5) = 1,16$$

Соответственно освещенность E_H составит:

$$E_H = \Phi \cdot n \cdot \eta / Z \cdot S \cdot K_3;$$

$$E_H = 248 \times 8 \times 1,16 / 1,1 \times 29,25 \times 1,5 = 477 \text{ лк.}$$

Минимальная освещенность при использовании ЭВМ и одновременной работе с документами составляет 300 лк. Получается то что освещение кабинета выше минимальной нормы и соответствует нормам СП 52.13330.2016. Для более благоприятных условий на окнах можно использовать жалюзи, которые помогут избежать лишних бликов на экране дисплея.

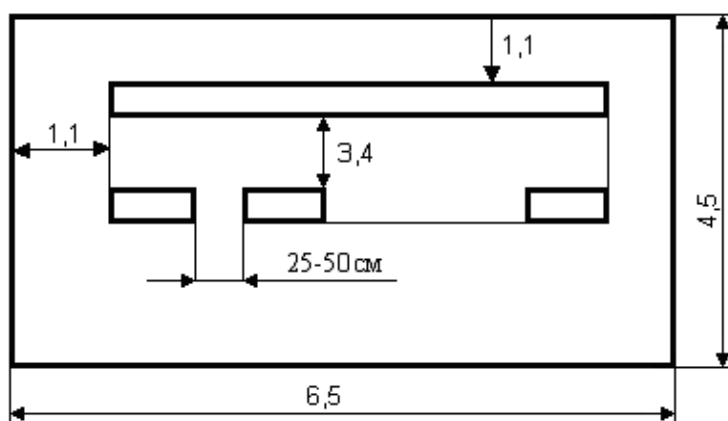


Рисунок 41 План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Психоэмоциональное напряжение

Психология безопасности труда составляет важное звено в структуре мероприятий по обеспечению безопасной деятельности человека. Проблемы аварийности и травматизма на современных производствах невозможно решать только инженерными методами. Опыт свидетельствует, что в основе аварийности и травматизма (до 60–90 % случаев) часто лежат не инженерно-конструкторские дефекты, а организационно-психологические причины. Это низкий уровень профессиональной подготовки по вопросам безопасности, отсутствие дисциплины, слабая установка специалиста на соблюдение техники безопасности, пребывание людей в состоянии утомления или других психических состояниях, снижающих надежность и безопасность деятельности специалиста. Для повышения эффективности труда используется ряд мероприятий: а) обучение рабочих и руководителей; б) обеспечение совершенной техникой и необходимыми средствами защиты; в)

создание благоприятных условий труда. Вся эта система формирует ряд благоприятных мотивов трудовой деятельности. Мотив – это то, что побуждает человека к деятельности. Какие мотивы являются главными в деятельности человека?

1. Мотив выгоды – получение вознаграждения за труд: зарплата, престиж, профессиональная гордость.
2. Мотив безопасности – избегание опасностей, возникающих на работе (травмирование, понижение в должности, увольнение и т. д.).
3. Мотив удобства – стремление выбрать наиболее легкий способ выполнения работы.
4. Мотив удовлетворенности – получение удовлетворения от результатов работы. Все перечисленные мотивы в той или иной мере присутствуют в любой деятельности. Роль каждого из них у разных людей разная. Сила мотивации зависит: а) от цели деятельности; б) осознанности труда; в) трудности задачи.

6.2.2 Анализ выявленных опасных факторов.

Поражение электрическим током.

Рассмотрим основные причины поражения человека электрическим током на рабочем месте:

- прикосновение к металлическим нетоковедущим частям (корпусу, периферии компьютера), которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции;
- нарушение требований эксплуатации оборудования;
- отсутствие инструктажа сотрудников по правилам электробезопасности.

Согласно требованиям ГОСТ 12.1.038-82 "ССБТ. Электробезопасность предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов" при нормальном режиме электроустановки напряжение прикосновения в сети переменного тока частотой 50Гц и времени воздействия не более 10 минут в

сутки не превышает 2В, значение тока, протекающего через тело человека, 0.3 мА.

Пожар.

Опасные факторы пожара- факторы пожара, воздействие которых может привести к травме, отравлению или гибели человека и (или) материальному ущербу. К опасным факторам пожара, воздействующим на людей и имущество (ФЗ от 22.07.2008г. №123):

1. Пламя и искры;
2. Тепловой поток;
3. Повышенная температура окружающей среды;
4. Повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения;
5. Пониженная концентрация кислорода;
6. Снижение видимости в дыму.

Основные источники воспламенения:

1. Неисправное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования.
2. Электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов.
3. Обогрев кабинета с помощью оборудования с открытыми нагревательными элементами. В помещениях с большим количеством справочной литературы и бумажных документов, которые являются легковоспламеняющимися предметами, использование таких обогревательных приборов небезопасно. Их исключение либо замена аналогами ликвидирует данную причину пожара.
4. Короткое замыкание. Необходимо скрыть электропроводку для уменьшения вероятности короткого замыкания.

Мероприятия по ликвидации опасных факторов

Электробезопасность в помещении кабинета обеспечивается техническими способами и средствами защиты, а также организационными и техническими мероприятиями. Во время работы на корпусе компьютера накапливается статическое электричество. На расстоянии 5-10 см от экрана напряженность электростатического поля составляет 60-280 кВ/м, то есть в 10 раз превышает норму 20 кВ/м. Для уменьшения напряжённости применяются увлажнители и нейтрализаторы, антистатическое покрытие пола. Кроме того, при неисправности каких-либо блоков компьютера, корпус может оказаться под током, что может привести к электрическим травмам или электрическим ударам. Для устранения этого предлагается обеспечить подсоединение металлических корпусов оборудования к заземляющей жиле. Так как все токоведущие части ЭВМ изолированы, то случайное прикосновение к токоведущим частям исключено. Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, рекомендуется применять защитное заземление. Основным организационным мероприятием является инструктаж и обучение безопасным методам труда, а так же проверка знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе

Мероприятия по борьбе с пожаром:

Руководитель должен ознакомить под роспись о правилах пожарной безопасности на данном объекте:

1. Рассказать, как вести себя в случае пожара;
2. Показать запасные выходы;
3. Ознакомить и показать где находиться первичные средства пожаротушения;
4. Кого нужно оповестить в случае пожара.

Чтобы предотвратить пожар, необходимо выявить как можно больше причин возникновения пожара и устранить их. Также нужно разработать план ликвидации пожара в помещениях и план эвакуации работников. Недорогие столы очень быстро возгораются, поэтому лучше всего приобрести качественную мебель для кабинета. Характер причин возникновения пожаров может быть, как неэлектрическим (75% случаев), так и электрическим.

Все организационные и технические мероприятия, направленные на обеспечение безопасности работников, предотвращение пожара и ограничение его распространения, а также создание всех условий для успешного тушения возгораний называется пожарной профилактикой.

Для нее большое значение имеет оценка пожарной опасности помещений и определение потенциально опасных факторов. Устранение возможных источников возникновения пожара является одним из главных условий обеспечения пожаробезопасности.

Так как помещение по степени пожароопасной относится к категории В, согласно [НПБ 105-03], т.е. к помещениям с твердыми сгораемыми веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

- Организационные мероприятия: предусматривают правильную эксплуатацию машин и внутризаводского транспорта, правильное содержание зданий, территории, противопожарный инструктаж, наличие плана эвакуации.
- Технические мероприятия: соблюдение противопожарных правил и норм при проектировании зданий, устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.
- Эксплуатационные мероприятия: своевременная профилактика, ремонты и испытание технологического оборудования.

В кабинете для тушения возгораний предусмотрено использование углекислотного огнетушителя ОУ-3 для тушения возгораний классов А, В и электроустановок до 1000 В при температуре воздуха -40°C до +50°C.



Рисунок 42 План эвакуации людей и оборудования.

Правила поведения при пожаре

При возникновении пожаров для спасения жизни и имущества следует соблюдать ряд несложных правил:

в начале пожара следует предпринять попытку его тушения с помощью огнетушителей и водопроводной воды; малые очаги возгорания можно накрыть плотными покрывалами для прекращения доступа воздуха;

огонь на элементах системы электроснабжения нельзя тушить водой; предварительно надо отключить электроснабжение;

о возникновении пожара необходимо сообщить в пожарную охрану, назвав точный адрес, свою фамилию; по возможности организовать встречу прибывших подразделений;

если в здании прозвучал сигнал тревоги, нужно немедленно покинуть помещение согласно плану эвакуации; из помещений нижних этажей можно эвакуироваться самостоятельно через окна, балконы и с помощью подручных

средств (веревки, простыней, ремней и проч.); лифты при пожарах использовать нельзя;

- проходя через горящие помещения, следует накрыться с головой мокрой материей; через задымленные помещения двигаться нужно ползком или пригнувшись (в этом случае меньше вероятности задохнуться в дыму); для защиты от токсичных продуктов горения дышать следует через влажный платок или ткань;

- если загорелась одежда, нельзя бежать, нужно постараться сбить пламя покрывалом, катанием по полу, затушить ее водой, снегом, землей и т.п.;

выходить из зоны пожара нужно в наветренную сторону.

6.3 Экологическая безопасность.

В настоящее время используются компьютеры, потребляющие сравнительно небольшое количество электроэнергии; вероятность электропоражения сравнительно невелика, поскольку современные ПЭВМ максимально приспособлены к безопасной работе. При работе с ПЭВМ и ВДТ возникает электромагнитное поле и рентгеновское излучение. Доза облучения при работе с компьютером составляет 100 мкР/час, при этом доза облучения увеличивается с уменьшением расстояния до экрана. В целом, доза облучения, создаваемая монитором, невелика по сравнению с естественным фоном рентгеновского облучения, что достигается применением средств коллективной защиты. Работа компьютера сопровождается шумом, однако его уровень в пределах нормы и не оказывает значительного воздействия на окружающую среду. Для безопасной работы с ПЭВМ и ВДТ сам пользователь должен соблюдать требования: эргономики, пожарной и электрической безопасности.

В представленном дипломном проекте вред экологии может нанести лишь неправильная утилизация используемого оборудования – компьютер и люминесцентные лампы.

Отработанные люминесцентные лампы складываются в специальных помещениях или в специальных контейнерах, по мере накопления задаются в специальные центры по утилизации имеющие лицензию на это вид деятельности. В г.Новокузнецке это предприятие “Эколенд”.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Поведение объекта в ЧС

Причинами аварий и катастроф могут являться стихийные бедствия, нарушения режимов технологических процессов (несоблюдение технологической дисциплины) либо правил эксплуатации производственного, энергетического, транспортного и др. оборудования, а также правил техники безопасности. Инженер-проектировщик находится в кабинете, где может возникнуть пожар.

Меры, необходимые для повышения устойчивости при ЧС

Под устойчивостью работы объекта понимается способность объекта выпускать установленные виды продукции в объемах и номенклатурах, предусмотренных соответствующими планами (для объектов, не производящих материальные ценности, —транспорт, связь и др. —выполнять свои функции), в условиях ЧС, а также приспособленность этого объекта к восстановлению в случае повреждения.

Мероприятия по обеспечению устойчивости работы объекта прежде всего должны быть направлены на защиту рабочих и служащих от оружия массового поражения и от последствий ЧС; они тесно связаны с мероприятиями по подготовке и проведению спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ в очагах поражения, так как без людских резервов и успешной ликвидации последствий ЧС в очагах поражения проводить мероприятия по обеспечению устойчивой работы объектов народного хозяйства достаточно проблематично.

На устойчивость объектов влияют следующие факторы:

- степень надежности защиты рабочих и служащих;
- бесперебойное снабжение объекта всеми видами энергии, водой, сырьем, комплектующими изделиями;
- наличие плана перевода производства на особый режим работы в экстренных ситуациях;
- степень надежности управления производством;
- надежность действия производственных связей;
- заблаговременная подготовка к восстановлению производства.

Одним из наиболее важных направлений в повышении устойчивости работы объекта является строгое соблюдение инженерно-технических требований ГО еще на стадии его проектирования и строительства.

Организация и улучшение условий труда на рабочем месте является одним из важнейших резервов производительности труда и экономической эффективности производства, а также дальнейшего развития самого работающего человека. В данной главе рассмотрены вредные производственные факторы, которые возникают в процессе работы инженера - проектировщика при работе на рабочем месте и в рабочей зоне. В целях предупреждения загрязнения воздуха и почвы неправильно утилизированным используемым оборудованием (компьютер и люминесцентные лампы) разработаны мероприятия по охране окружающей среды. Проведен анализ возможных чрезвычайных ситуаций на объекте, из которых наиболее вероятными являются пожар, разработаны основные противопожарные мероприятия.

Заключение

В данной квалификационной выпускной работе была спроектирована частотно – регулируемый электропривод шахтного вентилятора местного проветривания и исследована эффективность внедрения ЧРП.

В ходе работы для регулирования скорости вращения вентилятора использован современный асинхронный частотно-регулируемый электропривод.

Получены механические и электромеханические характеристики выбранного асинхронного двигателя, построенные по расчетным и каталожным значениям. В качестве закона управления, для преобразователя частоты выбран закон регулирования $\frac{U_{1j}}{f_{1j}^2} = const$. Для повышения пускового момента на малых скоростях до требуемых значений предусмотрена возможность настройки вольт – частотной характеристики.

Также произведено моделирование переходного процесса при пуске двигателя в программной среде MatLab Simulink. Был реализован задатчик интенсивности. С использованием имитационных моделей построены динамические характеристики.

В результате применения ЧРП значительно снижаются эксплуатационные расходы. При изменении частоты вращения, производительность вентилятора также изменится, создаваемое давление изменится в два раза, а потребляемая мощность в три раза. КПД вентилятора остается неизменным. Данный способ регулирования является наиболее экономически выгодным.

Эффективность внедрения частотно-регулируемого электропривода определяется не только экономией электроэнергии, повышением надежности работы оборудования и снижением эксплуатационных затрат. Важным достоинством является возможность оптимизации режимов работы, повышение уровня автоматизации, а также удобство и простота внедрения.

Conclusion

In this qualifying final work, a frequency - controlled electric drive of a local ventilation fan was designed and the efficiency of introducing the VFD was investigated.

During operation, a modern asynchronous variable-frequency electric drive is used to regulate the fan speed.

Mechanical and electromechanical characteristics of the selected asynchronous motor are obtained, constructed according to design and catalog values. As a control law, a regulation law has been chosen for the frequency converter. To increase the starting torque at low speeds up to the required values, it is possible to adjust the voltage-frequency characteristic.

Also, a simulation of the transient process was performed when the engine was started in the MatLabSimulink software environment. The intensity setter was implemented. Using dynamic models, dynamic characteristics were constructed.

As a result of the application of VFD, operating costs are significantly reduced. If the speed is changed, the performance of the fan will also change, the created pressure will change twofold, and the power consumption will be three times. The fan efficiency remains unchanged. This method of regulation is the most cost-effective.

The efficiency of introducing a frequency-controlled electric drive is determined not only by energy saving, increased reliability of equipment operation and lower operating costs. An important advantage is the possibility of optimizing the operating modes, increasing the level of automation, as well as the convenience and ease of implementation.

Список литературы

1. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 8. Асинхронный частотно – регулируемый электропривод: учебное пособие / Л.С.Удудт, О.П.Мальцева, Н.В. Кояин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010 – 448с.
2. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю.Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев; томский Политехнический Университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011–2013 с.
3. MATLAB Simulink Проектирование мехатронных систем на ПК: учебное пособие / С.Г. Герман – Галкин; Корона – век, 2008 – 368 с.
4. Моделирование систем электропривода в Simulink(Matlab 7.0.1): учебное пособие / В.Б. Терехин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010 –292 с.
5. Справочник по электрическим машинам: Том 2/С74 Под общей редакцией И.П.Копылова, Б.К. Клокова.–М.: Энергоатомиздат, 1989. – 688с.
6. Калинушкин М.П. Насосы и вентиляторы: учебное пособие для вузов, 6-е издание. – М.: Высшая школа, 1987. – 176с.
7. Онищенко Г.Б. Рег. Автоматизированный электропривод промышленных установок: Уч. пособие для ВУЗов, М.: Энергоатомиздат, 2002 г.
8. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов.–М.: Энергоатомиздат; 1986–416с.
9. С.Н. Вешеневский Характеристики двигателей в электроприводе. Изд.6-е, исправленное. М., «Энергия».
10. Башарин А.В., Голубев Ф.Н., Кепперман В.Г. Примеры расчетов автоматизированного электропривода. – Л.: Энергия, 1971. -440 с.
11. Шрейнер Р.Т. математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты: - Екатеринбург: УРО РАН, 2000.–654 с.

12. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2001 – 327 с.
13. Волкова Л. Методика проведения SWOT-анализа // http://market.narod.ru/S_StrAn/SWOT.html.
14. Криницына З.В., И.Г. Видяев Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
15. Криницына З.В. Ресурсоэффективность отрасли: Учебное пособие /З.В.Криницына. – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2013. – 182 с.
16. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно – регулируемых асинхронных электроприводах.–Чебоксары: Изд-во Чуваш. Ун-та, 1998.–172с.
17. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. управление электроприводами: учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат: Ленинград отд – ние, 1982.–392 с.
18. ГОСТ 12.0.003–74 «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
19. ГОСТ 12.0.0.002–80 «Система стандартов безопасности труда. Термины и определения».
20. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Графический материал

Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

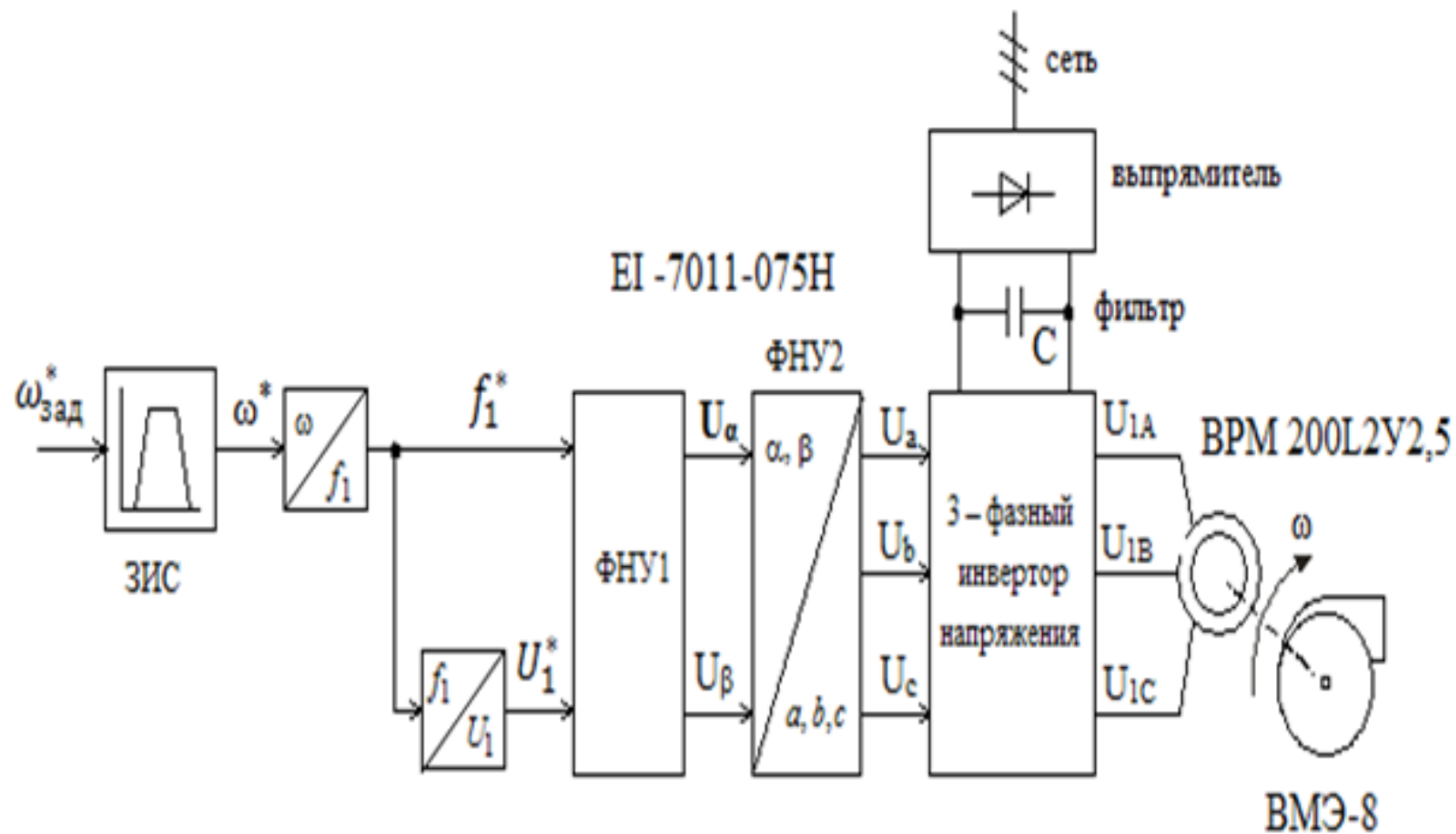
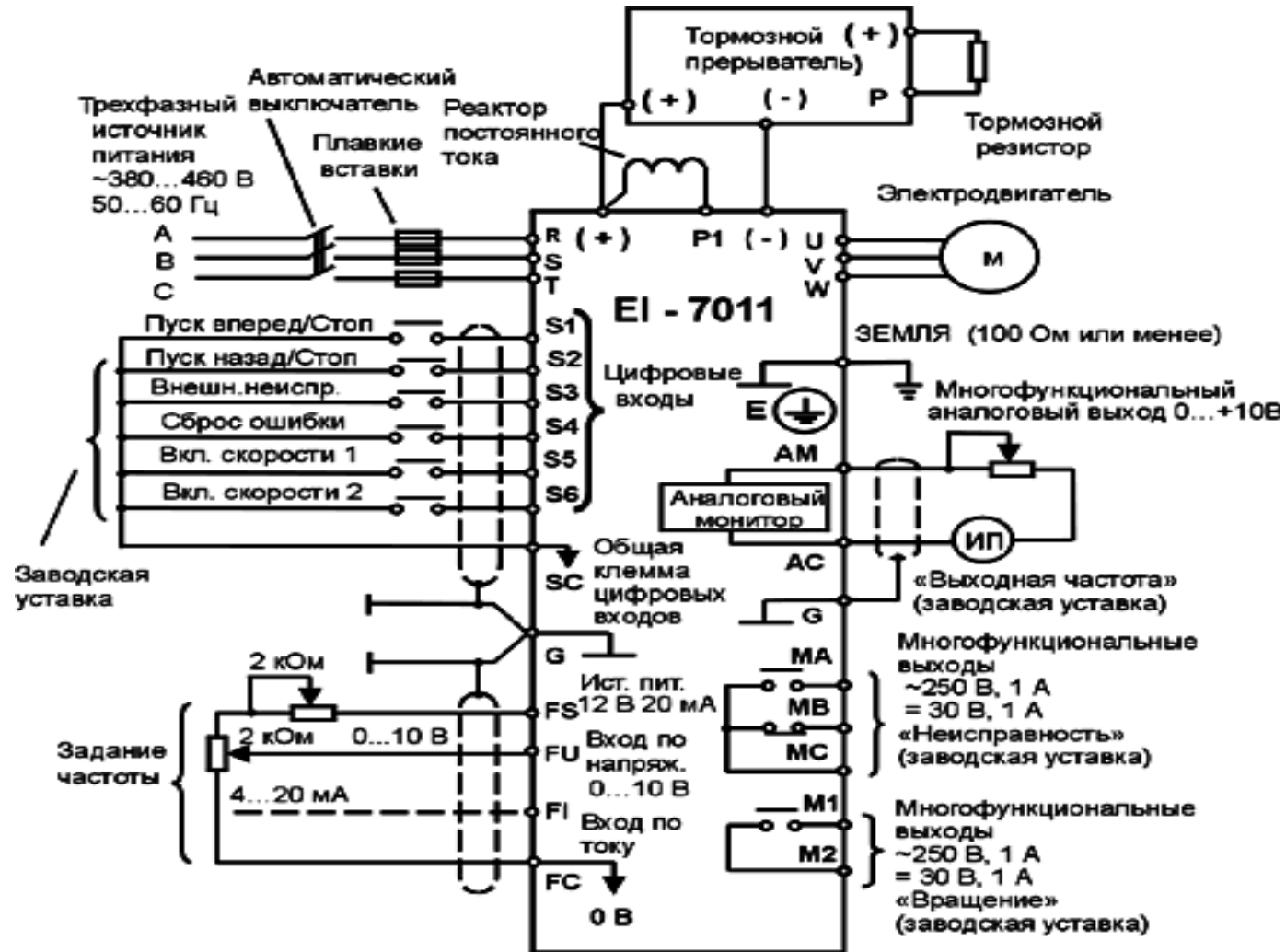
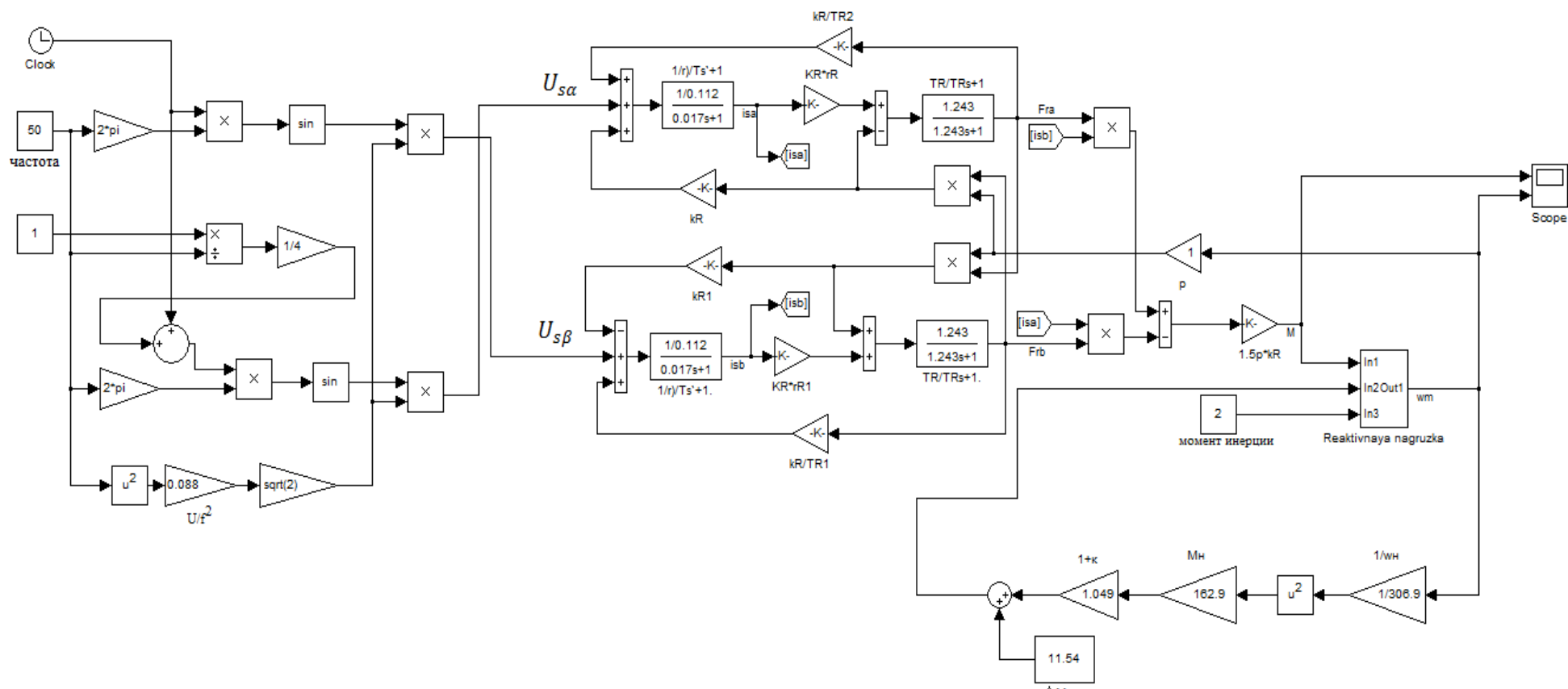
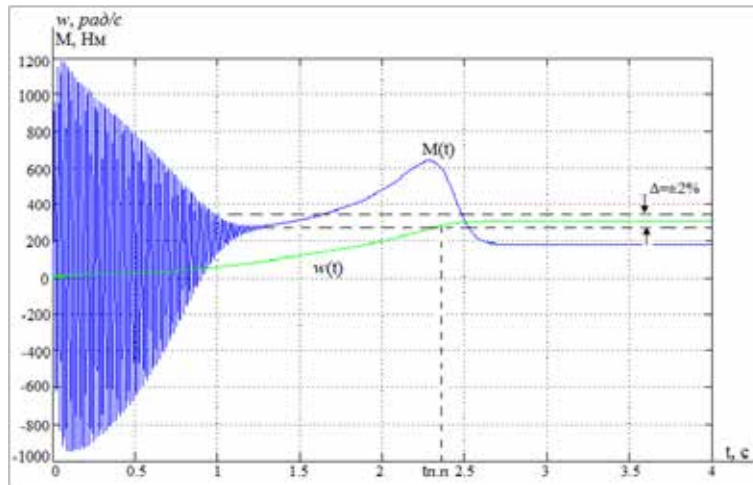


Схема подключения преобразователя частоты

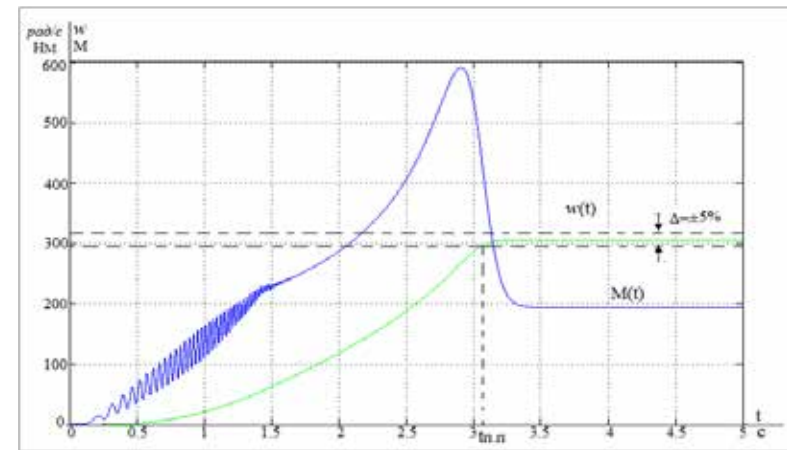


ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ В НЕПОДВИЖНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ И ВЕНТИЛЯТОРНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ЗАКОНЕ $U_1/f_1^2 = const$

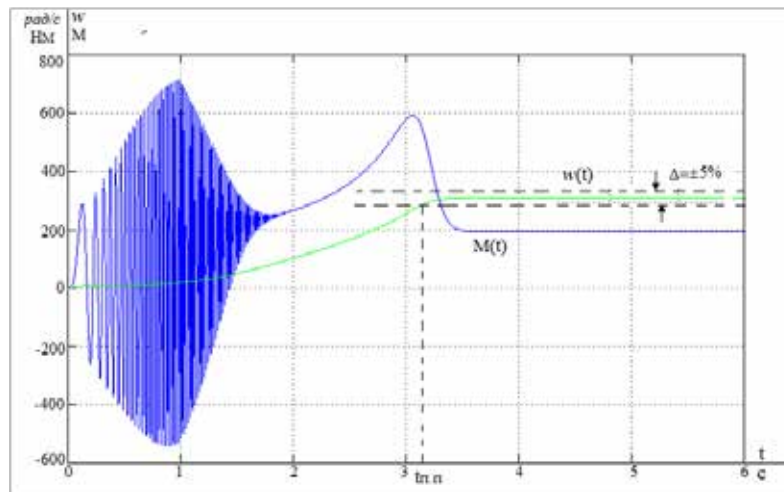




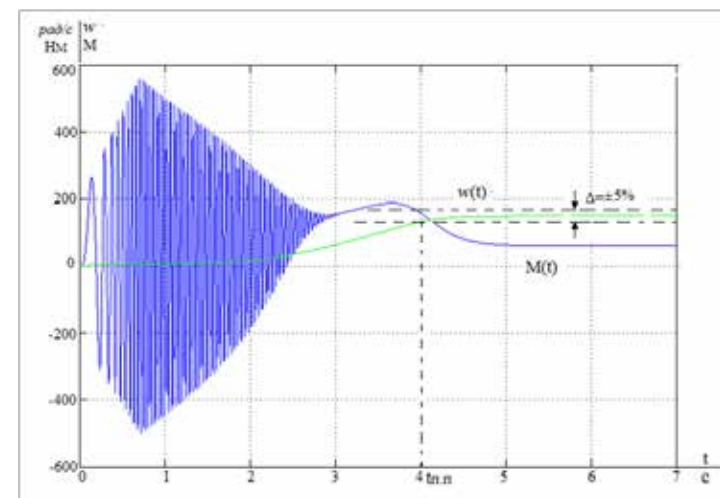
Результаты моделирования АКЗ в неподвижной системе координат



Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой при законе при частоте 50 Гц



– Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой при настройке вольт – частотной характеристики при частоте 50 Гц



Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой при настройке вольт – частотной характеристики при частоте 15 Гц

Диаграмма Ганта

Подэтапы	Исполнители	Раб.дни	Продолжительность выполнения работ											
			Март	Апрель			Май			Июнь				
			3	1	2	3	1	2	3	1	2			
1. Составление ТЗ	Руководитель	1	■											
2. Сбор и изучение литературы	Дипломник	8		■										
3. Сбор исходных данных	Дипломник	8			■									
4. Подготовка для ввода в базу	Дипломник	8			■									
5. Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	13				■								
	Руководитель	1					■							
6. Выбор оборудования	Дипломник	3					■							
7. Расчет и проверка модели АД	Руководитель	13						■						
	Дипломник	1							■					
8. Расчет и проверка АД-ПЧ	Дипломник	13								■				
	Руководитель	1									■			
9. Оформление пояснительной записки	Дипломник	7										■		
	Руководитель	2											■	
10. Сдача технического проекта	Дипломник	1												■
	Руководитель	1												■