

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

Отделение Электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Асинхронный электропривод шахтного вентилятора

УДК 62-83-523:622.445

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Корневский Илья Валерьевич		

Руководитель ВКР/ консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Данил Юрьевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГН ШБИП	Киселева Е.С.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова О.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютеева П.В.	к.т.н.		

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

Инженерная школа энергетика

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Тютеева П.В.
 (подпись) (дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5АБЖ	Корневскому Илье Валерьевичу

Тема работы:

Асинхронный электропривод шахтного вентилятора	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.02.2020 г., № 5978/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	8.06.2020
------------------------------------------	-----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Регулируемый электропривод шахтного вентилятора главного проветривания по системе ПЧ-АД с к.з. ротором. Режим работы продолжительный. Параметры вентилятора: $Q = 48 \text{ м}^3/\text{с}$, КПД = 0,8, Н=2800 Па.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Расчёт статических и динамических характеристик регулируемого электропривода. Выбор оборудования. Расчет параметров схемы замещения АД. Разработка имитационной модели регулируемого электропривода шахтного вентилятора главного проветривания.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Немцова Ольга Александровна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Елена Станиславовна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

27.02.2020 г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Корневский Илья Валерьевич		

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

Уровень образования: бакалавр

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Период выполнения: осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	8.06.2020
------------------------------------------	-----------

Дата контроля	Название раздела (модуля)/ Вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела модуля
02.03.2020 г.	Общие вопросы проектирования	15
16.03.2020 г.	Выбор преобразователя частоты	10
05.05.2020 г.	Расчет параметров схемы замещения	10
20.04.2020 г.	Построение естественных и искусственных характеристик	10
04.05.2020 г.	Моделирование работы в программе MATLAB	20
13.05.2020 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
17.05.2020 г.	Социальная ответственность	10
27.05.2020 г.	Оформление результатов работы и выводов по работе. Формирование файла дипломной работы	15

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тютеева П.В.	К.Т.Н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Корневскому Илье Валерьевичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	13.03.02
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электротехника и электроэнергетика

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ)</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	30% – премии, 20% – надбавки, 16% – накладные расходы, 30% – районный коэффициент
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	30,2% – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ и оценка конкурентоспособности НИ; SWOT-анализ
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки: - определение трудоемкости работ; - определение структуры работ; - разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - отчисления на социальные цели; - заработная плата; - материальные затраты; - накладные расходы; - амортизационные отчисления.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Оценка эффективности проекта производится с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности

Перечень графического материала:

1. Матрица SWOT
2. Диаграмма Гантта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Корневский Илья Валерьевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Корневский Илья Валерьевич

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Асинхронный электропривод шахтного вентилятора	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования	Объект исследования: Асинхронный электропривод шахтного вентилятора Область применения: угольные шахты Рабочая зона: рабочее место инженера-проектировщика в офисном помещении
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. 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.	<ul style="list-style-type: none"> – организационные мероприятия по компоновке рабочей зоны в соответствии с СанПин 2.2.2/2.4.1340-03; – управление мобильным роботом происходит в автономном и ручном режиме; – «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001. №197-ФЗ
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды: <ul style="list-style-type: none"> – Повышенный уровень шума; – Повышенный уровень вибрации; – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Отклонение параметров микроклимата. – Электропоражение.
3. Экологическая безопасность:	Анализ влияния объекта на окружающую среду. Разработка решения по обеспечению экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации на рассматриваемом рабочем месте в механическом цехе это возникновение пожара

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова Ольга Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Корневский Илья Валерьевич		

Результаты обучения по направлению
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Код результата	Результат обучения
Профессиональные	
P1	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> .
P2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
P3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .
P4	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
P5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
P6	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.
Универсальные	
P7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
P8	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> .
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
P10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
P12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 75 страниц, 29 рисунков, 19 таблиц, в процессе выполнения использовалась информация из 10 источников. Ключевые слова: асинхронный двигатель, вентилятор главного проветривания, электропривод, искусственные характеристики, динамические характеристики, естественные характеристики, преобразователь частоты, переходные процессы.

Объектом исследования является электропривод шахтного вентилятора. Целью работы – является проектирование электропривода шахтного вентилятора на основе асинхронного двигателя. В процессе работы произведен расчет и выбор силового оборудования, рассчитаны параметры элементов и характеристик силовой цепи. Исследован разработанный электропривод методом имитационного моделирования. В результате выполнения работы был спроектирован и исследован асинхронный электропривод, полностью соответствующий техническому заданию.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	10
1 РАСЧЕТ И ВЫБОР СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	12
1.1 ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.....	12
1.2 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ПО ПАСПОРТНЫМ ДАННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.....	12
1.3 РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.....	16
1.4 СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ.....	19
2 РЕЖИМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ И ВЫБОР СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	22
2.1 РЕЖИМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ.....	22
2.2 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ.....	23
2.3 ВЫБОР СЕЧЕНИЯ КАБЕЛЯ.....	27
2.4 ВЫБОР ПУСКОЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ.....	30
3 ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	32
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	43
4.1 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	43
4.2 ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ НТИ И ЕГО ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ.....	43
4.3 ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА.....	43
4.4 SWOT – АНАЛИЗ РАБОТЫ ПРОЕКТИРУЕМОГО СТЕНДА.....	44
4.5 АНАЛИЗ КОНКУРЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ.....	47
4.6 ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОЕКТНЫХ РАБОТ.....	48
4.7 РАСЧЕТ ЗАТРАТ И ДОГОВОРНОЙ ЦЕНЫ ПРОЕКТА ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	51
4.8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСНОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	55
4.9 ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ.....	55
4.10 ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ ИСПОЛНЕНИЯ РАЗРАБОТКИ.....	56
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	59
5.1 ВВЕДЕНИЕ.....	59
5.2 ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.....	59
5.3 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	61
5.4 АНАЛИЗ ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ.....	61
5.5 ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЯ (РАБОТАЮЩЕГО).....	67
5.6 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	70
5.7 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.....	71
5.8 ВЫВОД ПО РАЗДЕЛУ СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	74
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	75

Введение

В горнодобывающей отрасли очень важное влияние на работу шахты оказывает насыщение атмосферы различными вредными веществами. Они могут быть как природного, так и техногенного характера. Превышение ПДК (предельно допустимой концентрации) является опасным для жизни работников горнодобывающей отрасли и ограничивает возможности проведения производственных процессов.

Основной путь избежать скопления вредных веществ в шахте – подача направленного потока свежего воздуха и разжижение вредных веществ до допустимых концентраций.

Современное горное предприятие, на данном этапе своего развития, не может стабильно осуществлять работу без вентиляционных установок.

Сбой в проветривании шахты запускает цепочку по остановки всего технологического комплекса, к прекращению работы всех машин и механизмов и к немедленному выводу людей на поверхность.

От стабильной и надежной работы вентиляционного комплекса полностью зависит безопасность работников.

Исходя из этого, в шахтных условиях возникает необходимость в наличии надёжного управляемого источника сил движения потока воздуха. В качестве основного источника – используется вентилятор.

Вентиляторы заняли серьезную нишу во всех отраслях промышленности.

На их работу тратится огромное количество энергии. К примеру, в горнодобывающей промышленности на работы электроприводов уходит до 10% энергии расходуемой всех шахтой. Из этого следует, что при создании вентиляторов должны быть учтены факторы, в первую очередь безопасности, экономичности, а также должен быть осуществлено правильное их использование.

Целью данной выпускной квалификационной работы является проектирование электропривода шахтного вентилятора с требованиями технического задания и исследование его работы.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- Рассмотрение область применения (шахтной вентиляции);
- Расчет электродвигателя по параметрам технического задания;
- Расчет параметров схемы замещения для выбранного электродвигателя;
- Расчет и построение электромеханических и механических характеристик электродвигателя;
- Расчет и построение статических характеристик вентилятора с IR компенсацией;
- Выбор преобразователя частоты для данного электродвигателя и дополнительного силового оборудования;
- Математическое моделирование в программе MATLAB по выбранной системе управления электродвигателем;
- Расчет ресурсоэффективности и ресурсосбережения разработанного электропривода;
- Составление социальной ответственности для разработанного электропривода.

1 Расчет и выбор силового оборудования системы регулируемого электропривода

1.1 Выбор электродвигателя

Мощность является главным аспектом выбора двигателя. Номинальная мощность выбранного двигателя должна быть больше мощности, рассчитанной с помощью исходных данных. Исходные данные предоставлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные к работе

Производительность вентилятора	$Q = 48 \text{ м}^3/\text{с},$
Напор	$H = 2800 \text{ Па},$
Диапазон регулирования	$D_\omega = 1 - 10$
КПД вентилятора	$\eta = 0,8$
КПД передачи	$\eta_n = 1$
Коэффициент запаса	$k_3 = 1,15$

Для вентиляторов необходимая мощность определяется по формуле:

$$P = k_3 \cdot \frac{Q \cdot H}{\eta \cdot \eta_n} = 1,15 \cdot \frac{48 \cdot 2800}{0,8 \cdot 1} = 193,2 \text{ кВт}$$

Выбран двигатель АИР315М4 с номинальной мощностью 200000 Вт, изображенный на рисунке 7. Из расчета видно, что данный двигатель подходит для привода вентилятора

$$P_{\text{ном}} = 200,0 \text{ кВт} \geq P_{\text{рас}} = 193,200 \text{ кВт}$$

Условие выполняется.

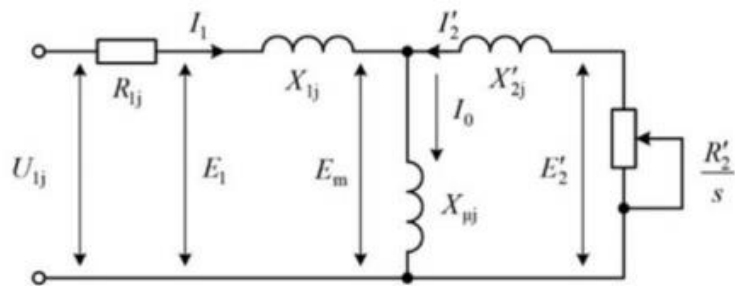
Таблица 2 – Техническая характеристика двигателя АИР315М4

$P_{\text{ном}},$ кВт	$n_{\text{ном}},$ %	$n, \frac{\text{об}}{\text{мин}}$	$\cos \varphi_n$	$s_n, \%$	$m_{\text{п}}$	$m_{\text{к}}$	$m_{\text{м}}$	$k_{i,\text{дв}}$	$J_{\text{дв}}, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2$
200,0	94,0	1500	0,92	2	1,4	2	0,9	5,5	3,6

1.2 Расчет параметров схемы замещения по паспортным данным электродвигателя АИР315М4

При расчете механических и электромеханических характеристик АД воспользуемся Т-образной схемой замещения. Схема замещения и основные

уравнения, соответствующие Т-образной схеме замещения представлены на рисунке 1. [5]



$$\bar{U}_{1\Phi} - \bar{E}_m - jX_{1j}\bar{I}_1 - R_1\bar{I}_1 = 0;$$

$$\bar{E}_m + jX_{2j}'\bar{I}_2' + \frac{R_2'\bar{I}_2'}{s} = 0;$$

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

Рисунок 1 – Т-образная схема замещения АД и основные её уравнения

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений, удовлетворяющих системе основных уравнений асинхронного двигателя представлена на рисунке 2.

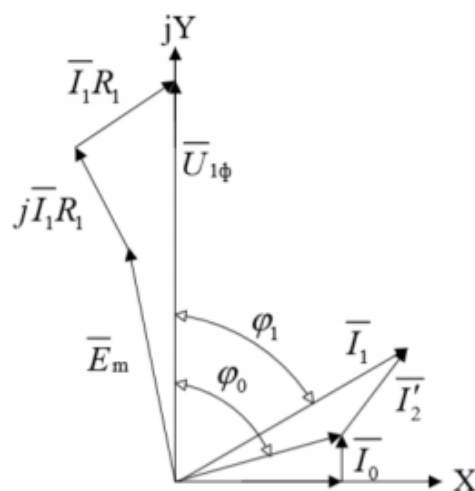


Рисунок 2 – Векторная диаграмма асинхронной машины

Определение дополнительных параметров двигателя по справочным техническим данным:

Номинальная частота вращения:

$$n_H = n_0 \cdot (1 - s_H) = 1500 \cdot (1 - 0,02) = 1470 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Синхронная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157,08 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - s_H) \cdot \omega_0 = (1 - 0,02) \cdot 157,08 = 153,94 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{200000}{153,94} = 1299 \text{ Нм.}$$

КПД:

$$\eta_H = 0,94.$$

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

$$U_{1\text{фн}} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{660}{\sqrt{3}} = 380 \text{ В.}$$

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = I_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{200000}{3 \cdot 380 \cdot 0,92 \cdot 0,94} = 202,866 \text{ А.}$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске:

$$I_{1\text{макс}} = k_{i,\text{дв}} \cdot I_{1\text{лн}} = 5,5 \cdot 202,866 = 1116 \text{ А.}$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике:

$$M_K = m_K \cdot M_{\text{дв.н}} = 2,2 \cdot 1290 = 2598 \text{ Нм}$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске:

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 0,9 \cdot 1299 = 1169 \text{ Нм}$$

Ток холостого хода:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(p_g \cdot I_{1H} \cdot \left(\frac{1 - s_H}{1 - p_g \cdot s_H} \right)^2 \right)}{1 - \left(p_g - \left(\frac{1 - s_H}{1 - p_g \cdot s_H} \right)^2 \right)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{153,686 - \left(0,75 \cdot 202,866 \cdot \left(\frac{1 - 0,02}{1 - 0,94 \cdot 0,02} \right)^2 \right)}{1 - \left(0,94 - \left(\frac{1 - 0,02}{1 - 0,94 \cdot 0,02} \right)^2 \right)}} = 39,686 \text{ A}$$

Значение активного сопротивления ротора:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\frac{\beta + 1}{s_k} \right) \cdot C_1} = \frac{0,521}{\left(\frac{1 + 1}{0,078} \right) \cdot 1,018} = 0,037 \text{ Ом}$$

Критическое скольжение:

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

$$= 0,013 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{(2,2)^2 - (1 - 2 \cdot 0,013 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,013 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,078 \text{ о. е.}$$

Коэффициент пропорциональности:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_H} = 1 + \frac{39,686}{2 \cdot 5,5 \cdot 202,866} = 1,018 \text{ о. е.}$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot K_{\max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 380^2 \cdot (1 - 0,02)}{2 \cdot 1,018 \cdot 2 \cdot 200000} = 0,521 \text{ о. е.}$$

Активное сопротивление цепи статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,018 \cdot 0,037 \cdot 1 = 0,038 \text{ Ом}$$

Значение индуктивного сопротивления короткого замыкания:

$$X_k = C_1 \cdot R'_2 \cdot \gamma = 1,018 \cdot 0,037 \cdot 12,783 = 0,482 \text{ Ом}$$

$$\text{где, } \gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_k} \right)^2 - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,078} \right)^2 - 1^2} = 12,783 \text{ о. е.}$$

Индуктивное сопротивление статора:

$$X'_2 = \frac{0,58 \cdot X_k}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 0,482}{1,018} = 0,275 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление статора:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_k = 0,203 \text{ Ом}$$

Значение критического скольжения:

$$S_k = C_1 \cdot \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_k^2}} = 1,018 \cdot \frac{0,037}{\sqrt{0,038^2 + 0,482^2}} = 0,078 \text{ о. е.}$$

ЭДС ветви намагничивания в обмотке статора:

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos\varphi_{1H} - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sin\varphi_{1H} + X_1 \cdot I_{1H})^2} = \\ &= \sqrt{(380 \cdot 0,92 - 0,038 \cdot 202,866)^2 + (380 \cdot 0,392 + 0,203 \cdot 202,866)^2} = \\ &= 358,552 \text{ В} \end{aligned}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_{\mu H} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{358,552}{39,686} = 8,993 \text{ Ом}$$

Параметры схемы замещения приведены в таблице 3. В дальнейшем производим расчет электромеханических и механических характеристик.

Таблица 3 – Расчетные параметры схемы замещения АД

$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$X_k, \text{ Ом}$	$X_{1H}, \text{ Ом}$	$X_{2H}, \text{ Ом}$	$X_{\mu H}, \text{ Ом}$
0,038	0,037	0,482	0,203	0,275	8,993

1.3 Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик электродвигателя

$$\begin{aligned} M(s) &= \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s \cdot \left(X_{кH}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right)} = \\ &= \frac{3 \cdot 380^2 \cdot 0,037}{157 \cdot s \cdot \left(0,482^2 + \left(0,038 + \frac{0,037}{s} \right)^2 + \left(\frac{0,038 \cdot 0,037}{s \cdot 8,993} \right)^2 \right)} \end{aligned}$$

Естественная механическая характеристика двигателя представлена на рисунке 3.

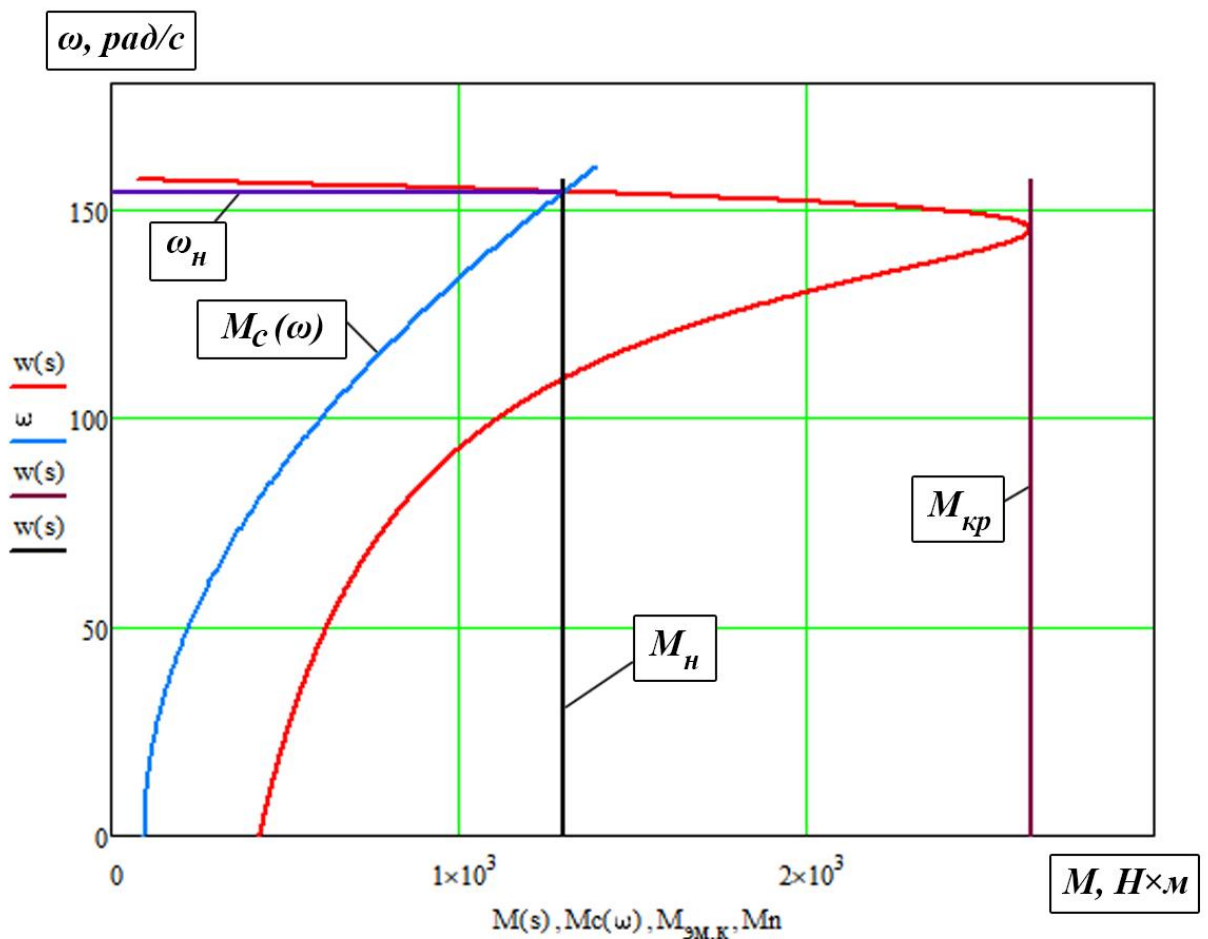


Рисунок 3 – Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя $M = f(\omega)$

Критический момент двигателя на естественной характеристике:

$$M_{\text{к}} = m_{\text{к}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 2 \cdot 1299 = 2598 \text{ Нм}$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске:

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 0,9 \cdot 1299 = 1169 \text{ Нм}$$

Естественная электромеханическая характеристика:

$$I'_2(s) = \frac{U_{1\text{н}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{\omega_0 - \omega}\right)^2 + (X_{1\text{н}} + X'_{2\text{н}})^2}} =$$

$$= \frac{380}{\sqrt{\left(0,038 + \frac{0,037}{157,08 - \omega}\right)^2 + (0,203 + 0,275)^2}}$$

Ток статора I_1 определяется путем сложения вектора тока намагничивания I_0 и вектора тока ротора I_2 и вектора тока ротора согласно векторной диаграмме (см. рисунок – 2). Полагаем ток намагничивания асинхронного двигателя I_0 реактивным $I_{0A} = 0$

Ток статора:

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

$$= \sqrt{39,686^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot 39,686 \cdot 0,392 \cdot I_2'(\omega)}$$

Естественные электромеханические характеристики $I_1 = f(\omega)$ и $I_2 = f(\omega)$ приведены на рисунке 4.

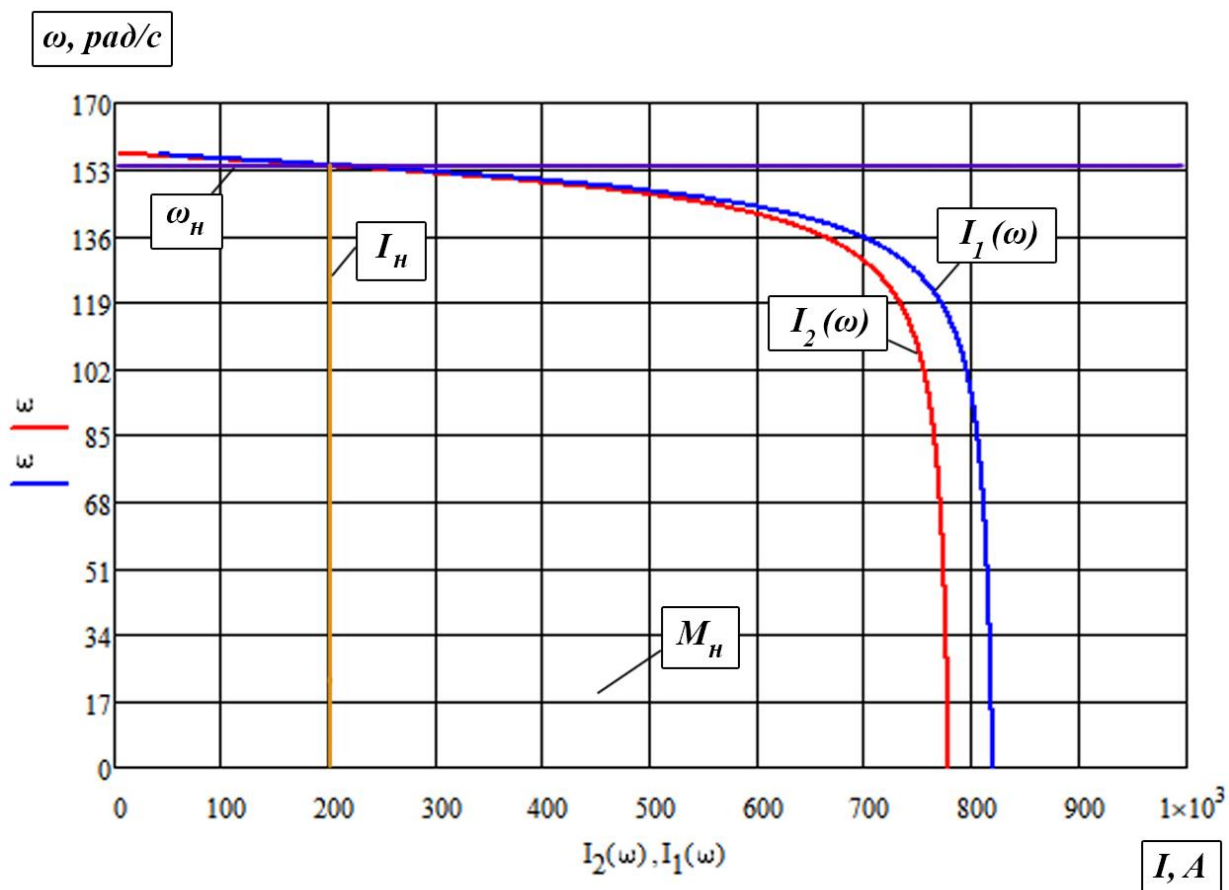


Рисунок 4 – Электромеханические характеристики асинхронного двигателя $I_1 = f(\omega)$ и $I_2 = f(\omega)$

1.4 Статические характеристики при регулировании скорости по закону регулирования $\frac{U_{1j}}{f_{1j}^2} = const$ с IR-компенсацией

IR компенсация нужна для работы электропривода на низких частотах.

Для регулирования скорости законом $\frac{U_{1j}}{f_{1j}^2} = const$ с IR компенсацией, нужно увеличивать фазное напряжение на двигателе на величину, определённое уравнением $U_{1j} = E_{1j} + I_1 \cdot R_1$, т.е. на величину падения напряжения.

Для поддержания отношения $\frac{U_{1j}}{f_{1j}^2} = const$ необходимо изменять U:

$$U_{1н2} = 0,152 \cdot f_{1н2}^2 \quad U_{1н2} = 243,2 \text{ В}$$

$$U_{1н3} = 0,152 \cdot f_{1н3}^2 \quad U_{1н3} = 138,8 \text{ В}$$

$$U_{1н4} = 0,152 \cdot f_{1н4}^2 \quad U_{1н4} = 95 \text{ В}$$

Соотношение частот при регулировании ПЧ:

$$f_{1H1} = 50 \text{ Гц}; \quad f_{11}^* = \frac{f_{1H1}}{f_{1H}} = \frac{50}{50} = 1;$$

$$f_{1H2} = 40 \text{ Гц}; \quad f_{12}^* = \frac{f_{1H2}}{f_{1H}} = \frac{40}{50} = 0,8;$$

$$f_{1H3} = 30 \text{ Гц}; \quad f_{13}^* = \frac{f_{1H3}}{f_{1H}} = \frac{30}{50} = 0,6;$$

$$f_{1H4} = 25 \text{ Гц}; \quad f_{14}^* = \frac{f_{1H4}}{f_{1H}} = \frac{25}{50} = 0,5.$$

Синхронная скорость на естественной характеристике:

$$\omega_0 = \frac{n_0}{9,55} = 157,08 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Синхронная скорость при регулировочных характеристиках:

$$\omega_{12} = \omega_0 \cdot f_{12}^* = 125,67 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$\omega_{13} = \omega_0 \cdot f_{13}^* = 94,25 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$\omega_{14} = \omega_0 \cdot f_{14}^* = 78,54 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Рассчитаем электромеханические характеристики АД $I_2' = f(\omega)$ при различных значениях частот обмоток статора:

$$I_2'(s) = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_k^2 \cdot f_1 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot f_1}\right)^2}},$$

где, $s_j = \frac{\omega_{0j} - \omega}{\omega_{0j}}$ - относительное скольжение

Электромеханические характеристики представлены на рисунке 5.

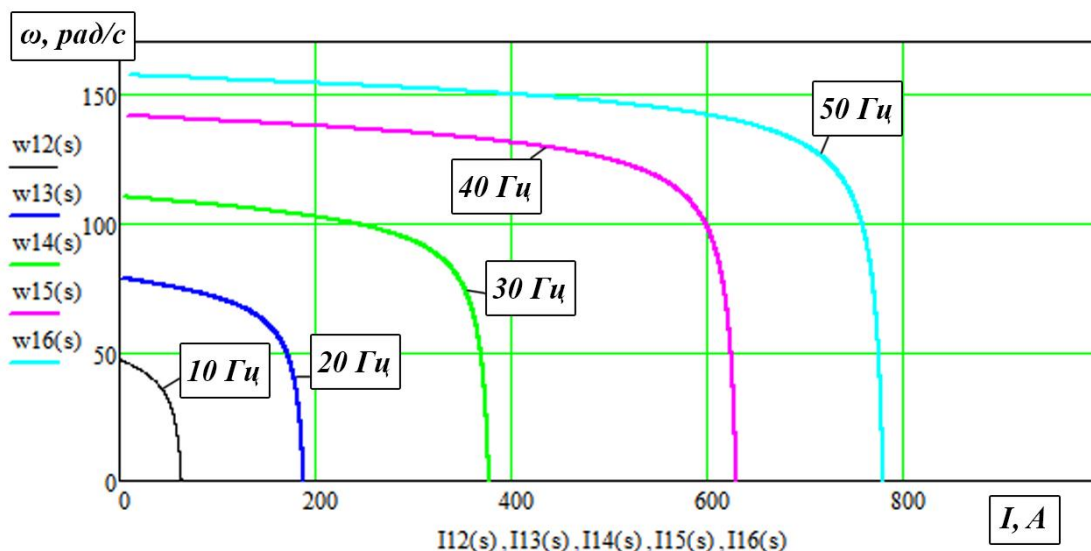


Рисунок 5 – Электромеханические характеристики $I'_2 = f(\omega)$

Рассчитаем электромеханические характеристики АД $I_1 = f(\omega)$ при различных значениях частот обмоток статора. Полагая ток намагничивания асинхронного двигателя реактивным ($I_{0A} = 0$), ток статора I_1 через приведенный ток ротора I'_2 можно найти по формуле:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I'_2(s)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I'_2(s) \cdot \sin\varphi_{2j}(s)},$$

где $\sin\varphi_{2j}(s) = \arcsin \left[\frac{X_{\text{кн}} \cdot f_{1j}^*}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1j}^*}} \right]$

Выражение для расчета механических характеристик:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_1 \cdot R'_2}{\omega_{0H} \cdot s \cdot \left(X_{\text{кн}}^2 \cdot f_1^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_\mu \cdot f_1} \right)^2 \right)}$$

Электромеханическая характеристика АД $I_1 = f(\omega)$ представлена на рисунке 6.

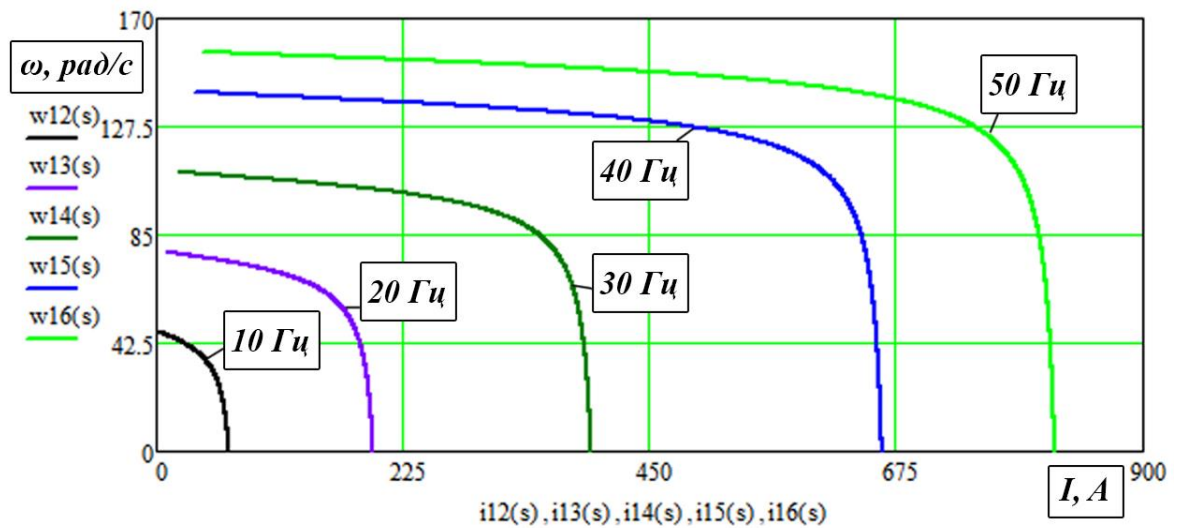


Рисунок 6 – Электромеханические характеристики $I_1 = f(\omega)$

Механическая характеристика АД $M = f(\omega)$ представлена на рисунке 7.

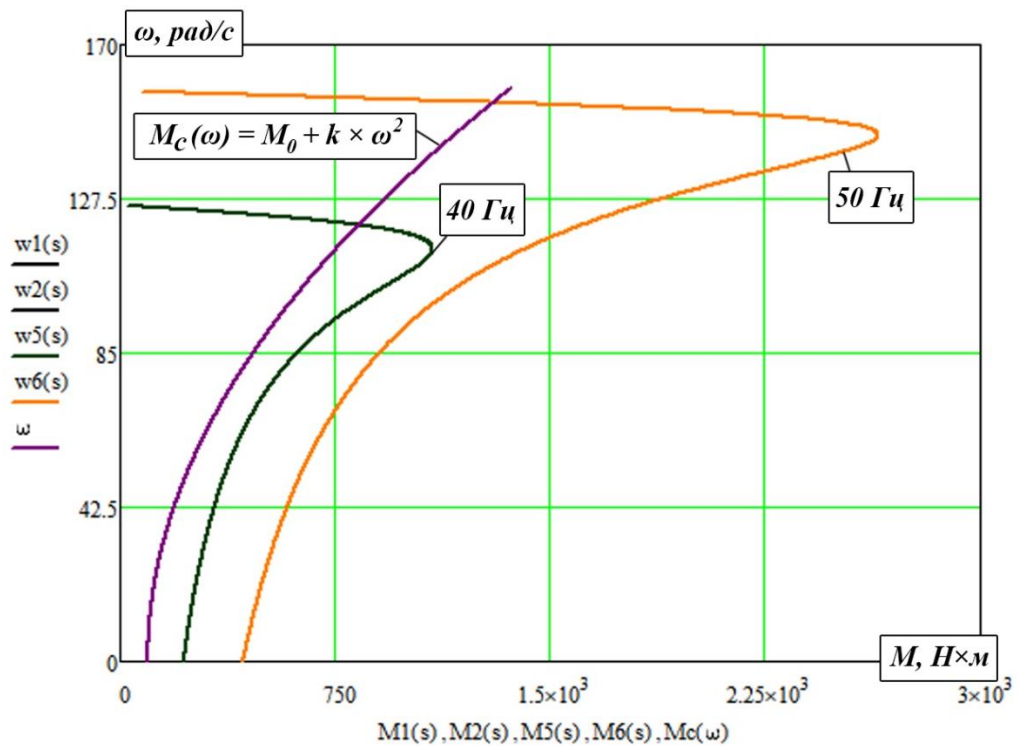


Рисунок 7 – Механическая характеристика $M = f(\omega)$

2 Режимы управления электродвигателями и выбор силового оборудования

2.1 Режимы управления электродвигателями

Существуют несколько характеров нагрузки электропривода: насос, экструдер, вентилятор, конвейер и т.д. Для каждой из нагрузок существует

режимы управления электродвигателем, соблюдая зависимость между скоростью вращения вала электродвигателя и выходным напряжением [6].

На рисунке 8, представлены механические характеристики типичных нагрузок электродвигателя.



Рисунок 8 – механические характеристики типичных нагрузок электродвигателя

Нагрузку с линейной зависимостью (закон $\frac{U}{f} = const$) исполняется простыми преобразователями частоты и обеспечивает постоянный момент нагрузки в основном для управления синхронными двигателями.

Для регулирования насосов и вентиляторов закон: $\frac{U}{f^2} = const$, а для конвейеров $\frac{U}{\sqrt{f}} = const$.

2.2 Выбор преобразователя частоты с законом управления $\frac{U}{f^2} = const$

При регулировании электроприводов вентиляторов и центробежных насосов применяют закон $\frac{U}{f^2}$.

Выбираем преобразователь частоты MIDIMASTER Eсo6SE95 (с диапазоном мощностей 5,5...315 кВт), основные технические параметры которого представлены на рисунке 9 [7].

Тип преобразователя частоты	MICROMASTER Eco 6SE95	MIDIMASTER Eco 6SE95
Диапазон мощностей	0,75...7,5 кВт	5,5...315 кВт
Напряжение питания	3 фазы, 208-240 В ±10% 3 фазы, 380-500 В ±10%	3 фазы, 208-240 В ±10% 3 фазы, 380-460/480/500 В ±10% 3 фазы, 525-575 В ±10%
Перегрузочная способность	150% от номин. тока в течение 60 с	110% от номин. тока в течение 60 с
Метод управления	Режим оптимизации электропотребления (Eco) Вольт-частотный квадратичный (U/f^2)	
Дискретные входы (программируемые)	6	6
Аналоговые входы	2 (0...10 В, 2...10 В, ±10 В, 0/4...20 мА)	
Аналоговые выходы	1 (0/4-20 мА)	2 (0/4-20 мА)
Дискретные релейные выходы (параметрируемые)	2 (230 В/1,0 А перем. тока)	2 (230 В/1,0 А перем. тока)
Фиксированные частоты	8	8
Способы торможения	Генераторное, динамическое, комбинированное	
Метод охлаждения	Вентилятор	Вентилятор
Диапазон рабочих температур	От 0 до 50°C	От 0 до 40°C
Степень защиты	IP20/IP56	IP21/IP56

Рисунок 9 – Технические характеристики MIDIMASTER Eco6SE95

Структурная схема преобразователя частоты MIDIMASTER Eco6SE95 представлена на рисунке 10.

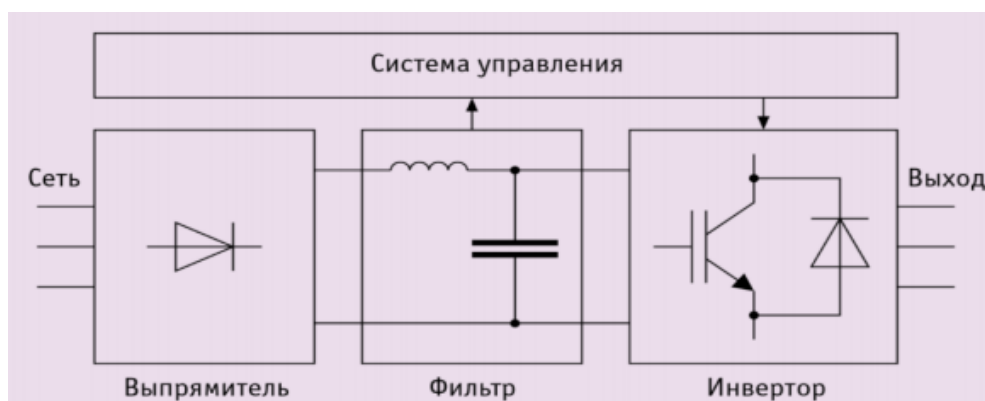


Рисунок 10 – Структурная схема выбранного преобразователя частоты

Преобразователь MIDIMASTER Eco6SE95 имеют следующий принцип работы:

- Преобразовывает переменное напряжение сети при помощи диодного выпрямителя
- При помощи индуктивно-емкостного фильтра сглаживает выпрямленное напряжение

- Инвертор (выполнен на основе IGBT модулей) преобразует постоянный ток в переменный, что позволяет обеспечить выходной сигнал с нужными величинами частоты и напряжения.

На рисунке 11 показан модуль LOGO и внешний вид преобразователя частоты MIDIMASTER Eco6SE95.



Рисунок 11 – Модуль LOGO и внешний вид преобразователя частоты MIDIMASTER Eco6SE95

Изменение работы осуществляется ступенчатым изменением скорости двигателя шахтного осевого вентилятора при помощи преобразователя частоты.

Управление осуществляется при помощи логического модуля LOGO (Рисунок 11), в котором имеются часы реального времени, что позволяет через дискретные выходы выбирать требуемое значение выходной частоты преобразователя.

На рисунке 12 показана система регулирования производительности вентилятора:

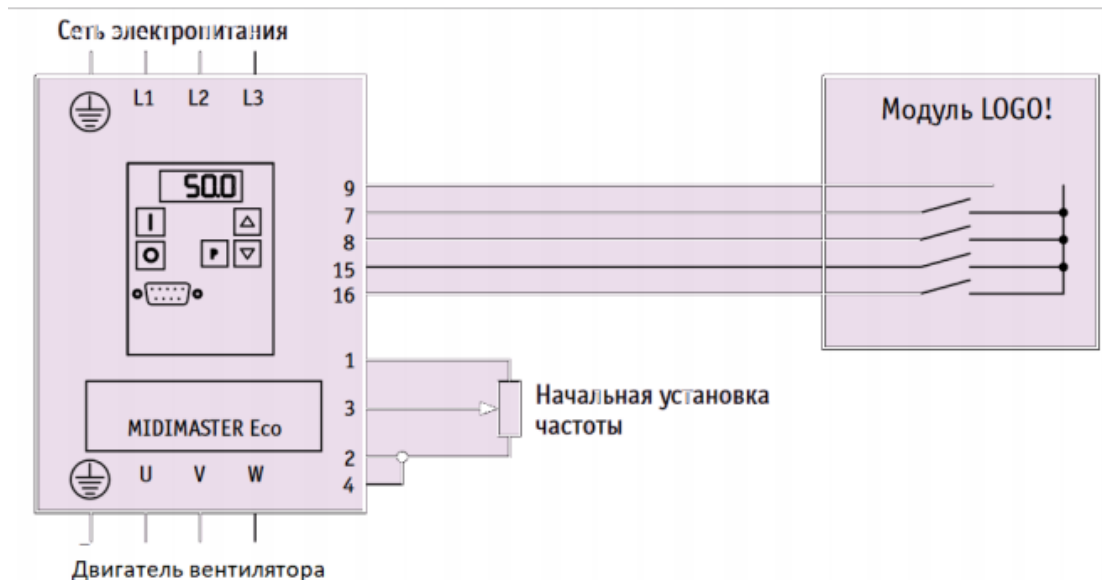


Рисунок 12 – Система регулирования производительности вентилятора.

Система поддержания постоянной скорости в шахте с датчиком скорости: через аналоговый вход выставляется при помощи потенциометра нужная скорость. Датчик скорости преобразует обороты/минуту в электрический сигнал. При помощи дополнительного источника питания осуществляется питания датчика скорости.

Управление преобразователем частоты осуществляется при помощи пульта управления (рисунок 14). Управление осуществляется набором параметров, заданием значения параметра и контролированием значение параметра, например время разгона, минимальные и максимальные частоты и другое. Эти параметры изменяют при помощи кнопок мембранной клавиатуры пульта управления.

На рисунке 13 представлена система поддержания постоянной скорости в шахте с датчиком скорости.

На рисунке 14 представлен пульт управления преобразователем частоты.

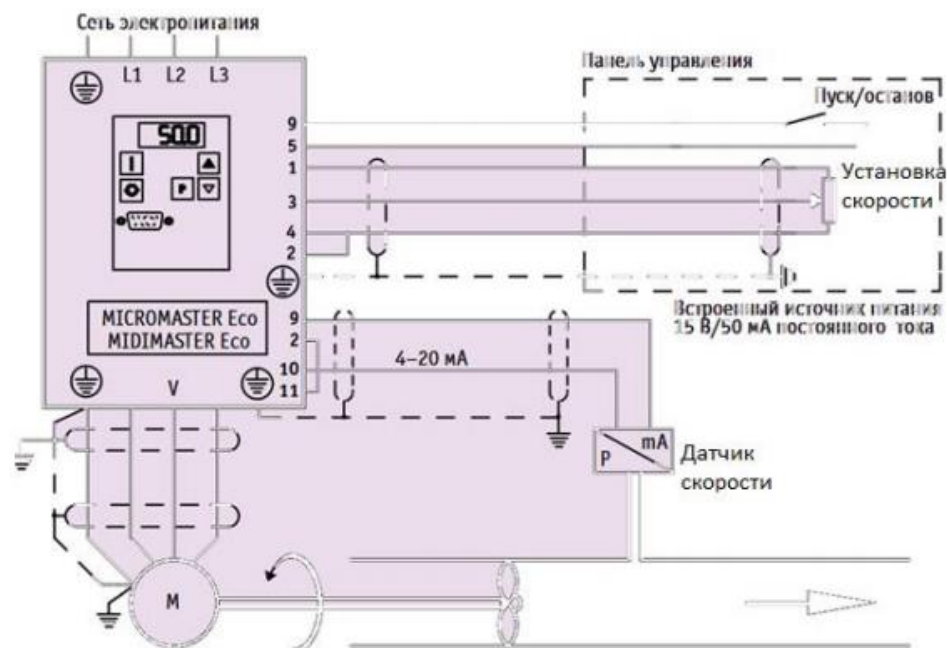


Рисунок 13 – Система поддержания постоянной температуры в шахте с датчиком скорости



Рисунок 14 – пульт управление преобразователем частоты

Следует отметить, что для установления оптимальных режимах работы при максимальной эффективности требуется глубокое знание самого процесса и оборудования привода. Поэтому в преобразователе частоты MIDIMASTER Eco6SE95 выделяется группа параметров, при помощи которых осуществляется быстрый ввод привода в работа. Другие группы параметров (экспертные) для точной настройки.

2.3 Выбор сечения кабеля

Выбор сечения производится по номинальному току (I_N) двигателя.

Для асинхронного двигателя расчет производится по формуле:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi_H \cdot n_H} = \frac{200000}{\sqrt{3} \cdot 660 \cdot 0,92 \cdot 0,94} = 202 \text{ А}$$

Выбор сечения кабеля производится по таблице, представленной на рисунке 15.

Сечение, S, мм ²	Токовые нагрузки кабелей и проводов, А				
	Провода и кабели, рабочее напряжение до 1000В				
	Одножильные	Двухжильные		Трёхжильные	
	При прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
1	2	3	4	5	6
1,5	23	19	33	19	27
2,5	30	27	44	25	38
4	41	38	55	35	49
6	50	50	70	42	60
10	80	70	105	55	90
16	100	90	135	75	115
25	140	115	175	95	150
35	170	140	210	120	180
50	215	175	265	145	225
70	270	215	320	180	275
95	325	260	385	220	330
120	385	300	445	260	385
150	440	350	505	305	435
185	510	405	570	350	500
Токовые нагрузки относятся к проводам и кабелям, как с заземляющей жилой, так и без неё					

Рисунок 15 – Кабели с медными жилами, с резиновой изоляцией в свинцовой в поливинилхлоридной, непритовой или резиновой оболочках, бронированные и небронированные

Выбранное сечение кабеля проверяется на допустимое падение напряжение в нем (ε), которое не должно превышать 5%. Падение напряжение ε рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = \frac{P_H \cdot l}{U_H^2 \cdot \gamma \cdot S} \cdot 100\%$$

где $P_H \cdot l$ – момент нагрузки (P_H берется в Вт);

l – длина кабеля в метрах от силового распределительного пункта до рассчитываемого двигателя;

U_H – номинальное напряжение двигателя, В;

S – сечение жилы кабеля (провода), мм²;

γ – удельная проводимость металла жилы кабеля (для меди – 57).

Выбираем медный кабель с сечением 70 мм² и проверим правильность выбора.

$$\varepsilon = \frac{200000 \cdot 100}{660 \cdot 57 \cdot 120} \cdot 100\% = 1,15\%$$

Значение ε получилось < 5%, значит можем считать расчет верным.

Типы марок кабеля (рекомендуется прокладка в земле).

Значения буквы или их сочетания:

А – алюминиевая жила

АС – алюминиевая жила в свинцовой оболочке;

Б – броня из двух стальных лент;

П – броня из оцинкованных плоских проволок, поверх которых наложен защитный покров;

Г – отсутствие защитных покровов поверх брони или оболочки;

Шв (Шп) – защитный покров в виде выпрессованного шланга из поливинилхлорида (полиэтилена);

ААШв – кабель с алюминиевыми жилами в алюминиевой оболочке и защитным покровом в виде шланга из поливинилхлорида;

ААБв – кабели с выпрессованной оболочкой из поливинилхлорида (в) под броней из стальных лент (Б) с защитными покровами.

МШв – кабели с медными жилами в защитной оболочке в виде шланга из поливинилхлорида.

Марки кабелей с медными жилами обозначают как кабели с алюминиевыми жилами, но вместо обозначения АА используют обозначение М или буква А отсутствует (ААШв – кабель с алюминиевыми жилами, МШв – кабель с медными жилами; АВВГ – кабель с алюминиевыми жилами, ВВГ – кабель с медными жилами).

Выбираем кабель ВБбШнг (силовой кабель с медными жилами, бронированный, в ПВХ изоляции с защитным покровом не распространяющийся

горение) с сечением 70 мм². Данный кабель рекомендуется прокладывать в земле.

2.4 Выбор пускозащитной аппаратуры

Для пуска двигателей чаще всего используются магнитные пускатели. Пускатель обеспечивает управление пуском и отключением двигателя и одновременно защищает двигатель от пониженного напряжения и перегрузки (в комплекте с тепловым реле).

Выбор пускателя и теплового реле для двигателей осуществляется по номинальному току и напряжению.

Для защиты электродвигателей и электрических сетей от токов короткого замыкания используются предохранители с плавкими вставками или автоматические выключатели защиты, устанавливаемые на распределительных пунктах в силовых шкафах.

Номинальные токи защитных аппаратов должны быть минимальными, но не меньше расчетных, обеспечивая избирательность действия.

Величина номинального тока плавной вставки $I_{вс}$ предохранителя при подключении одиночного электродвигателя должна удовлетворять условию:

$$I_{вс} \geq \frac{I_{пуск}}{2,5}$$

Значение пускового двигателя определяется по формуле:

$$I_{пуск} = k_i \cdot I_n = 202 \cdot 5,5 = 1116 \text{ А}$$

где k_i – кратность пуска.

Выбор предохранителей и плавких вставок к ним осуществим по таблице, представленной на рисунке 16.

Максимальные величины токов плавких вставок								
Предохранитель		I_n	I_{max} для $t = 0,2$ с		I_{max} для $t = 0,4$ с		I_{max} для $t = 5$ с	
Тип	Описание	A	A	k	A	k	A	k
NH-00C/gG, NH-00/gG, NH-1C/gG, NH-1/gG, NH-2C/gG	Предохранители ножевые медленные	4	39	9,7	32	8,0	18	4,5
		6	52	8,6	44	7,3	26	4,3
		10	90	9,0	75	7,5	46	4,6
		16	122	7,6	102	6,3	63	3,9
		20	172,2	8,6	135	6,7	86	4,3
		25	215	8,6	192	7,6	102	4,0
		32	302	9,4	252	7,8	153	4,2
		35	335	9,5	293	8,3	179	5,1
		40	398	9,9	325	8,1	195	4,8
		50	538	10,7	455	9,1	281	5,6
		63	675	10,7	578	9,1	314,8	4,9
		80	945	11,8	800	10	432	5,4
		100	1200,3	12,0	1001,9	10,0	595	5,9
		125	1730,3	13,8	1486,2	11,8	723	5,7
		160	2120	13,2	1818	11,3	925	5,7
		200	2990	14,9	2410	12,0	1310	6,5
		224	2080	9,2	1750	7,8	1240	5,5
250	3509	14,0	2977,4	11,9	1584,0	6,3		

Рисунок 16 – Параметры предохранителей типа NH и номинальные токи плавких вставок

Выберем предохранитель NH-2C с номинальным током вставки 224 А.

$$I_{вс} = 224 \text{ А} > I_{ном} = 202 \text{ А}$$

Предохранитель с момента пуска и на протяжении 5 секунд выдерживает ток до 1240 А. Максимальный пусковой для двигателя АИР315М4 – 1116 А. Соответственно, выбор предохранителя можно считать верным.

Выберем автоматический выключатель. Так как номинальный ток 202 А, то выбираем автомат с небольшим запасом – КЭАЗ ВА 5135 (рассчитанный на номинальный ток 250 А) с номинальной отключающей способностью 10 кА и номинальным напряжением до 690 В.

Проверим правильность выбор автоматического выключателя.

Проверим условие мгновенного срабатывания защитного автомата.

$$I_{над} = K_n \cdot I_{пуск} = 1,25 \cdot 1116 = 1395 \text{ А}$$

где K_n = поправочный коэффициент надежности ($K_n = 1,25$).

Мгновенное срабатывание автомата наступает при $I_{мгн.ср} = 10 \text{ кА}$

Пусковой ток с поправочным коэффициентом надежности $I_{над} = 1395 \text{ А}$

$$I_{мгн.ср} = 10 \text{ кА} > I_{над} 1395 \text{ А}$$

Делаем вывод, что автомат выбран верно.

3 Исследование динамики электропривода

Так как параметры схемы замещения АД найдены при помощи методики, у которой может быть погрешность, необходимо исследовать АД в динамике.

Моделирование будет производиться в программной среде MATLAB [8].

Ввод параметров схемы замещения асинхронного двигателя в программе MATLAB-Simulink приведен на рисунке 17.

```
1      %Параметры двигателя
2 -    f=50;
3 -    Rs=0.038;
4 -    Rr=0.037;
5 -    Ls_=0.0006446;
6 -    Lr_=0.0008745;
7 -    Lm=0.029;
8 -    p=4;
9 -    J=3.6;
10 -   Ls=Ls_+Lm;
11 -   Lr=Lr_+Lm;
12 -   zp=p/2;
13 -   Kr=Lm/Lr;
14 -   Re=Rs+Rr*Kr^2;
15 -   Le=Ls-Lm^2/Lr;
16 -   Uamp=380*sqrt(2);
17 -   Ar=Rr/Lr;
18 -   Wref=pi*f;
19 -   n = 1500*0.98;
20 -   wn = (pi*n)/30;
21 -   Mn = 200000/wn;
22 -   km=0.75;
```

Рисунок 17 – Ввод параметров схемы замещения асинхронного двигателя в программе MATLAB-Simulink

Схема имитационной модели асинхронного двигателя в программной среде MATLAB-Simulink приведена на рисунке 18.

Далее рассмотрим ключевые части имитационной модели ПЧ-АД:

Схема блока имитационной асинхронной машины в программной среде MATLAB-Simulink приведена на рисунке 19;

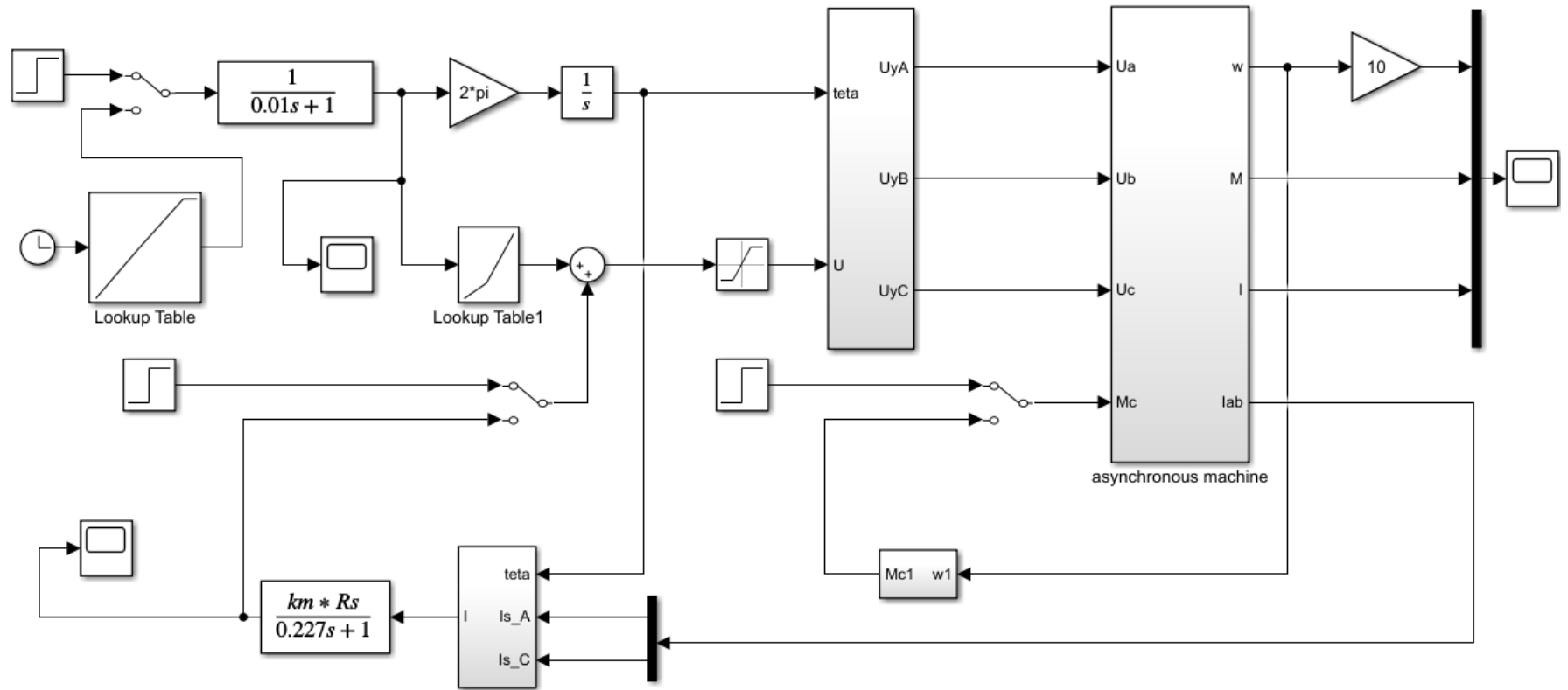


Рисунок 18 – Имитационная модель асинхронного двигателя в программной среде MATLAB-Simulink

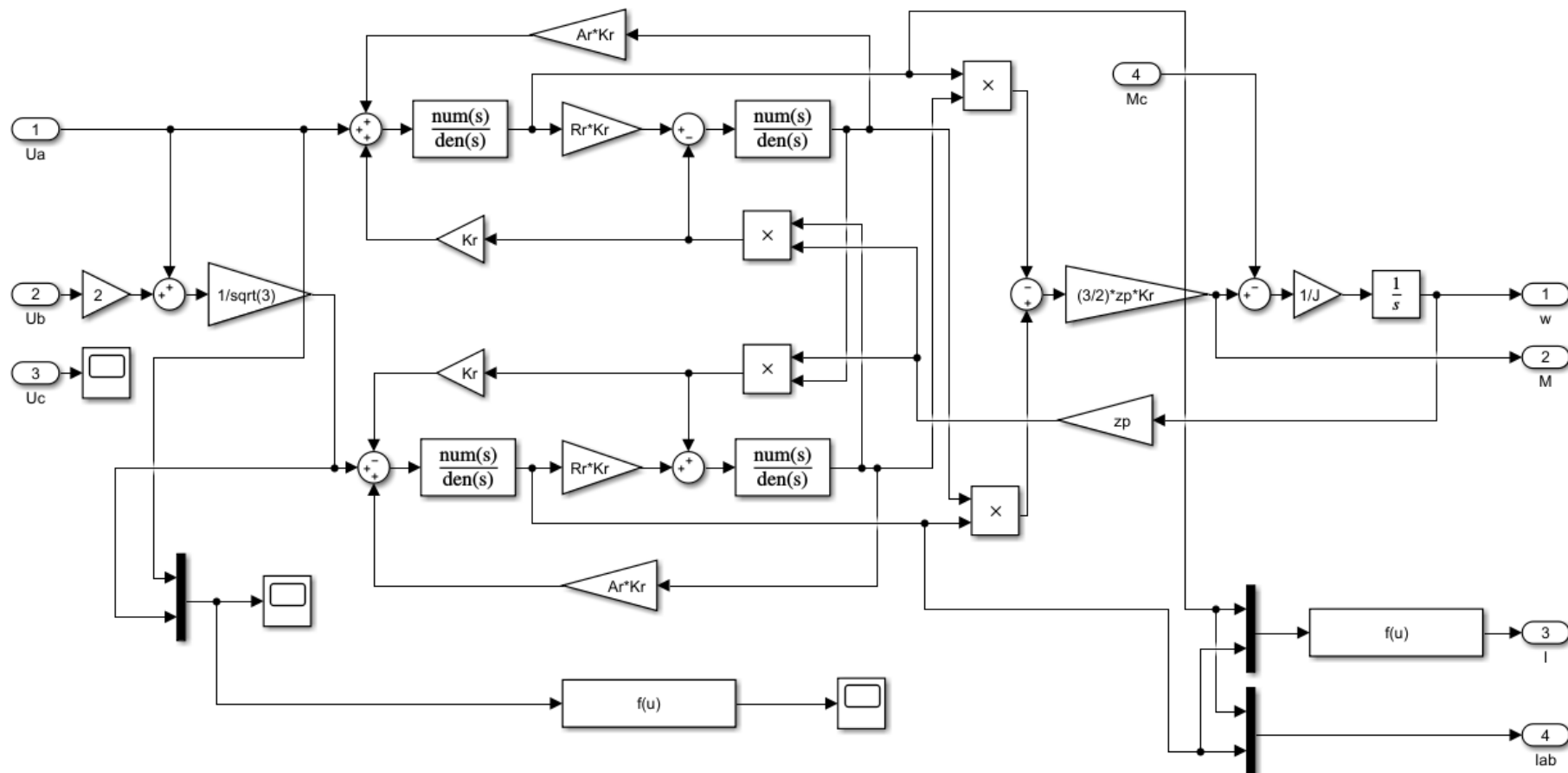


Рисунок 19 – Блок подсистемы асинхронного двигателя

Часть модели с вентиляторной нагрузкой представлена на рисунке 20;

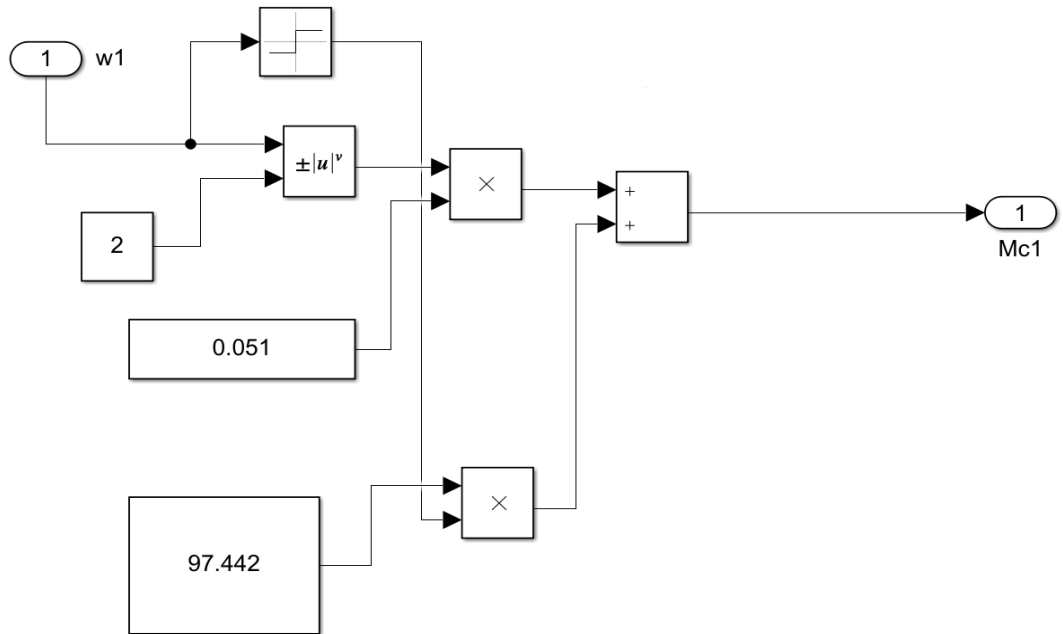


Рисунок 20 – Блок подсистемы вентиляторной нагрузки

Часть модели с IR компенсацией показана на рисунке 21.

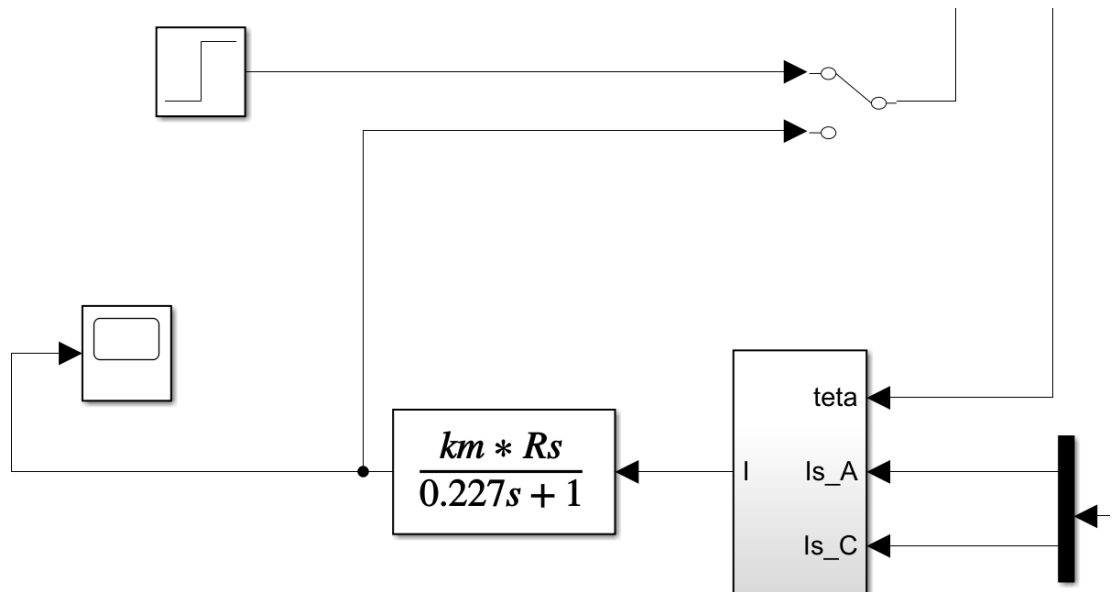


Рисунок 21 – Часть модели с IR компенсацией

Для удобства снятия различных переходных процессов, в схему добавлены ключи, чтобы можно было проследить оказываемое влияние на работу асинхронного двигателя нагрузки, преобразователя частоты и IR компенсации.

Графики переходных процессов скорости $\omega = f(t)$, момента $M = f(t)$ и тока $I = f(t)$ при пуске асинхронного электродвигателя прямым включением в сеть без вентиляторной нагрузки (холостой ход) приведены на рисунке 22.

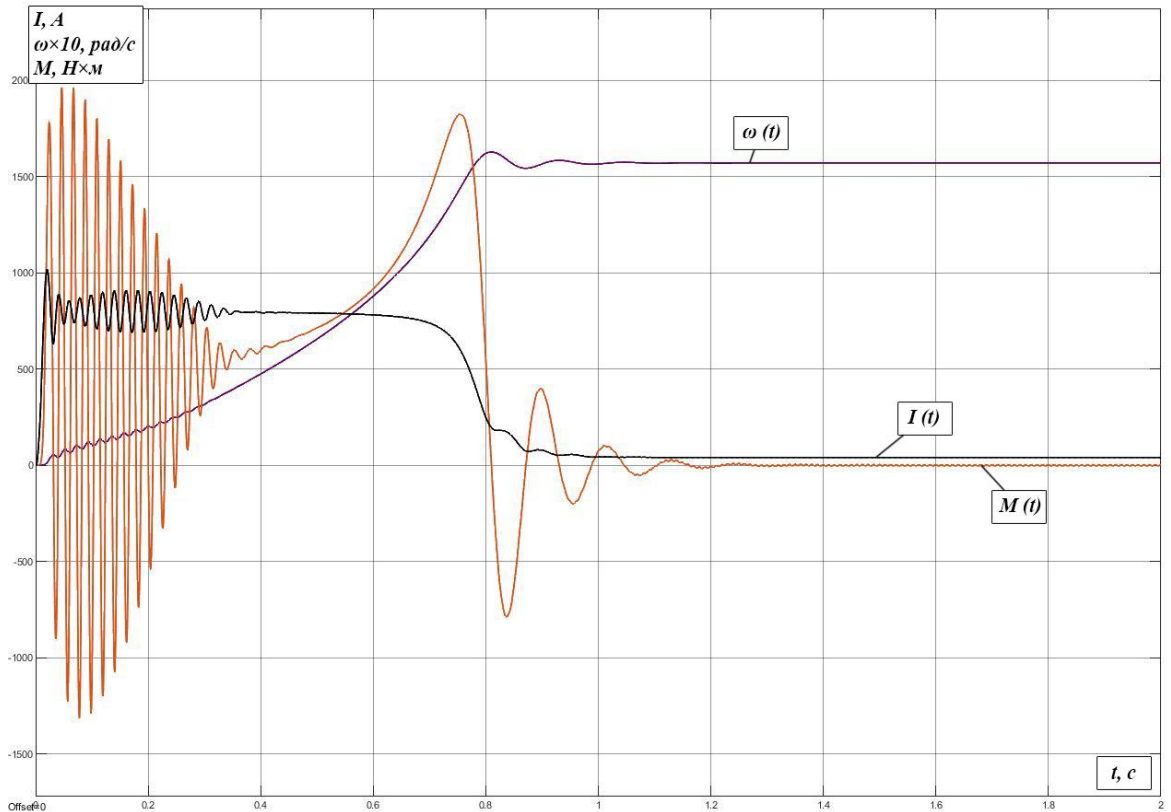


Рисунок 22 – Графики переходных процессов скорости $\omega = f(t)$, момента $M = f(t)$ и тока $I = f(t)$ при пуске АД прямым включением в сеть

Из рисунка 22 можно выделить то, что переходный процесс в режиме холостого хода двигателя достиг синхронной скорости $\omega_0 = 155 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, время необходимо для установившегося значения $t = 1,2$ сек.

Графики переходных процессов скорости $\omega = f(t)$, момента $M = f(t)$ и тока $I = f(t)$ при пуске асинхронного электродвигателя прямым включением в сеть с вентиляторной нагрузкой приведены на рисунке 23.

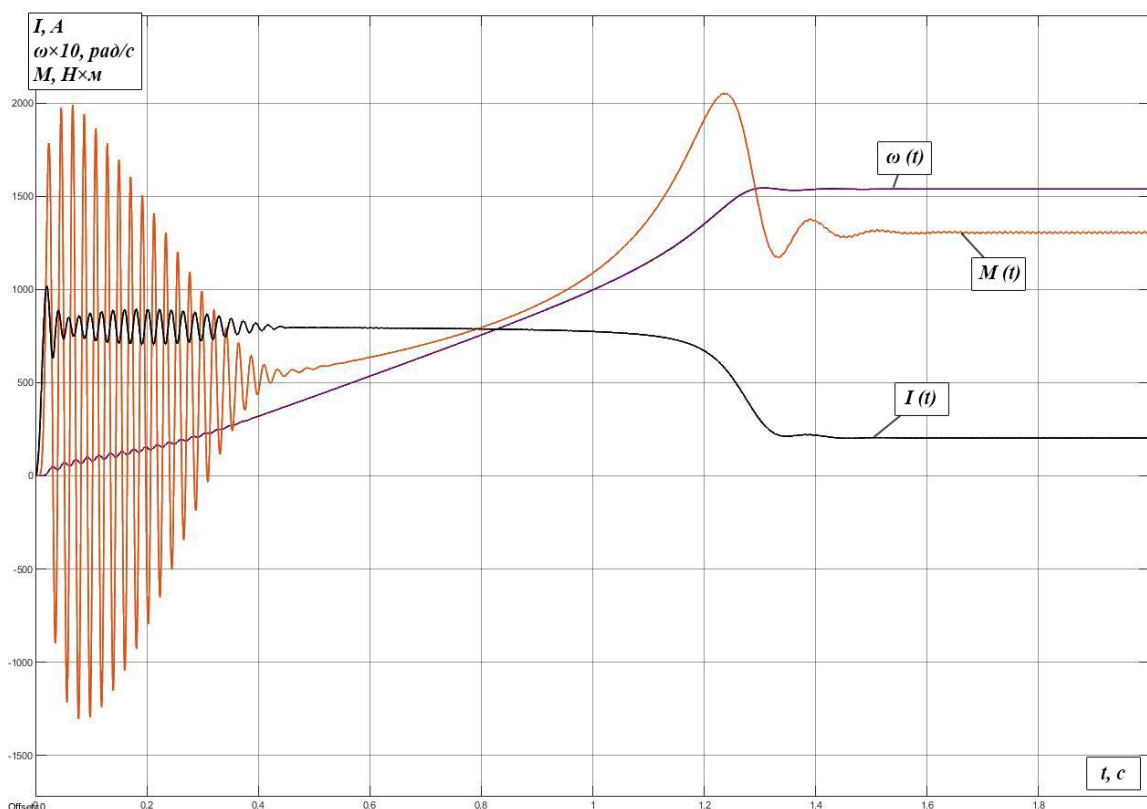


Рисунок 23 – Графики переходных процессов скорости $\omega = f(t)$, момента $M = f(t)$ и тока $I = f(t)$ при пуске АД прямым включением в сеть с вентиляторной нагрузкой

Из рисунка 23 можно выделить то, что переходный процесс в режиме с вентиляторной нагрузкой достиг синхронной скорости $\omega_0 = 155 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, время необходимое для установившегося значения $t = 1,5$ сек. Так же по полученным характеристикам можно сделать вывод, что расчет двигателя произведен верно, так как двигатель достигает номинальной частоты вращения при номинальном моменте.

Графики переходных процессов скорости $\omega = f(t)$, момента $M = f(t)$ и тока $I = f(t)$ при пуске асинхронного электродвигателя с преобразователем частоты и вентиляторной нагрузкой приведены на рисунке 24.

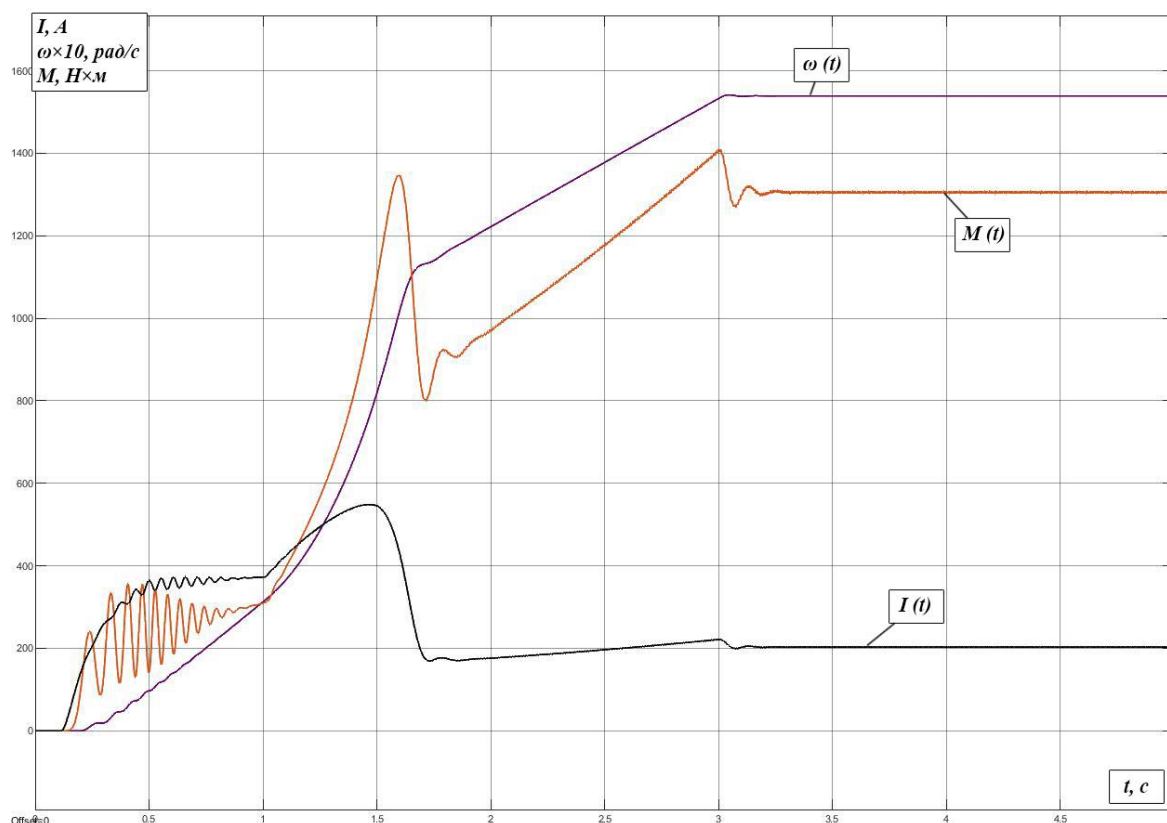


Рисунок 24 – Графики переходных процессов скорости $\omega = f(t)$, момента $M = f(t)$ и тока $I = f(t)$ при пуске АД с преобразователем частоты и вентиляторной нагрузкой

Из рисунка 24 можно выделить то, что переходный процесс в режиме с вентиляторной нагрузкой достиг синхронной скорости $\omega_0 = 155 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, время необходимое для установившегося значения зависит от настроек преобразователя частоты. По графикам видно, что пуск двигателя осуществляется более плавно и энергоэкономичнее.

Графики переходных процессов скорости $\omega = f(t)$, момента $M = f(t)$ и тока $I = f(t)$ при пуске асинхронного электродвигателя с преобразователем частоты и ИР компенсацией приведены на рисунке 25.

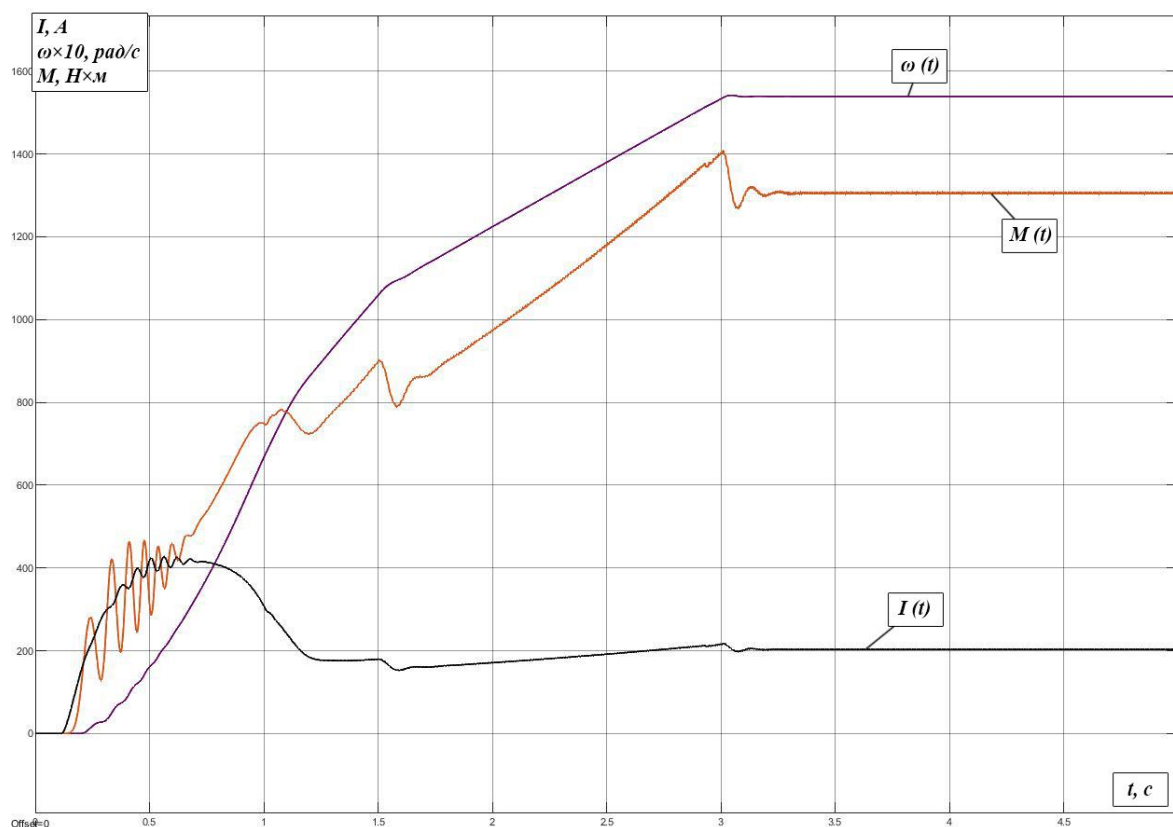


Рисунок 25 – Графики переходных процессов скорости $\omega = f(t)$, момента $M = f(t)$ и тока $I = f(t)$ при пуске АД с преобразователем частоты и IR компенсацией

Из рисунка 25 можно выделить то, что переходный процесс в режиме с вентиляторной нагрузкой достиг синхронной скорости $\omega_0 = 155 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, время необходимое для установившегося значения зависит от настроек преобразователя частоты. IR компенсация увеличивает момент в начале пуска (при малых частотах управления) и позволяет двигателю избежать рывков момента в процессе пуска.

Графики переходных процессов скорости $\omega = f(t)$, момента $M = f(t)$ и тока $I = f(t)$ при пуске асинхронного электродвигателя с преобразователем частоты на частоте 10 Гц, приведены на рисунке 26.

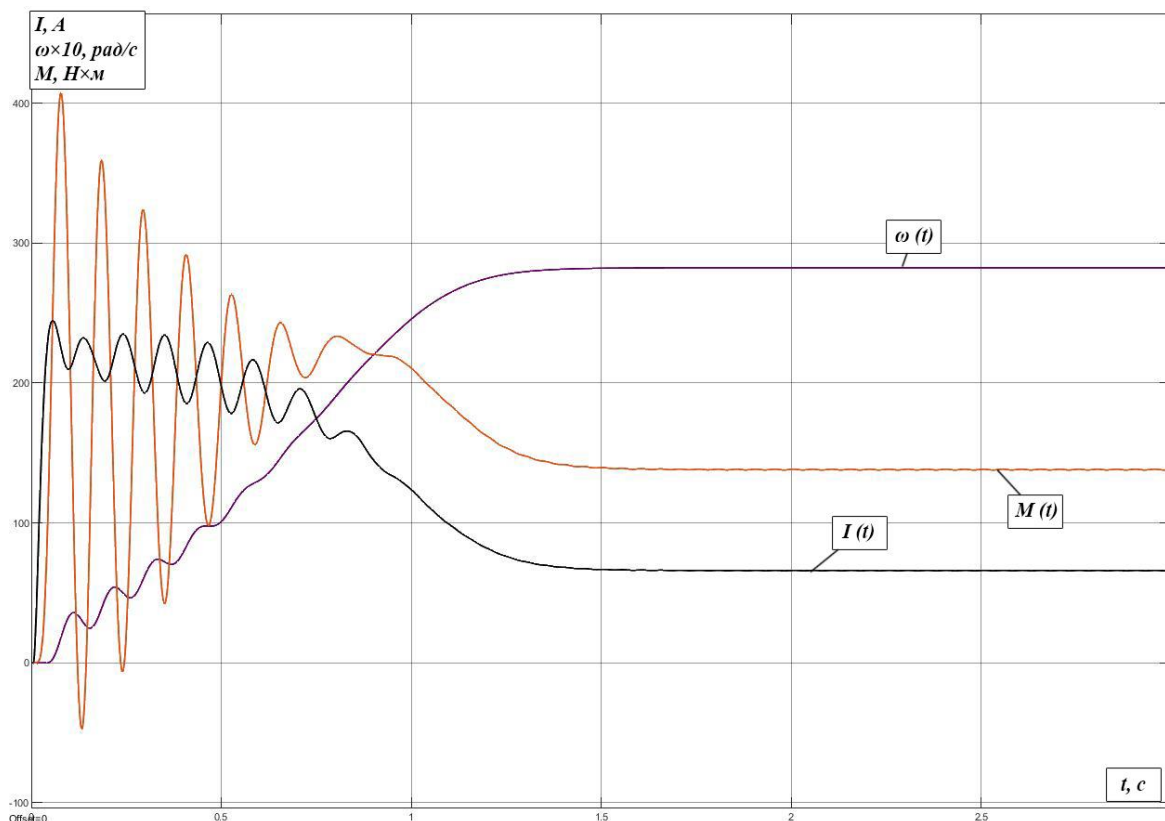


Рисунок 26 – Графики переходных процессов скорости $\omega = f(t)$, момента $M = f(t)$ и тока $I = f(t)$ при пуске АД с преобразователем частоты на частоте 10 Гц

Из рисунка 26 можно выделить то, что переходный процесс в режиме с вентиляторной нагрузкой достиг синхронной скорости $\omega_0 = 27 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, время необходимое для установившегося значения зависит от настроек преобразователя частоты. По графикам, можно сделать вывод, что в процессе пуска АД идет большой разброс момента и при низких частотах регулирование осуществляется с большим трудом.

Графики переходных процессов скорости $\omega = f(t)$, момента $M = f(t)$ и тока $I = f(t)$ при пуске асинхронного электродвигателя с преобразователем частоты и ИР компенсацией на частоте 10 Гц приведены на рисунке 27.

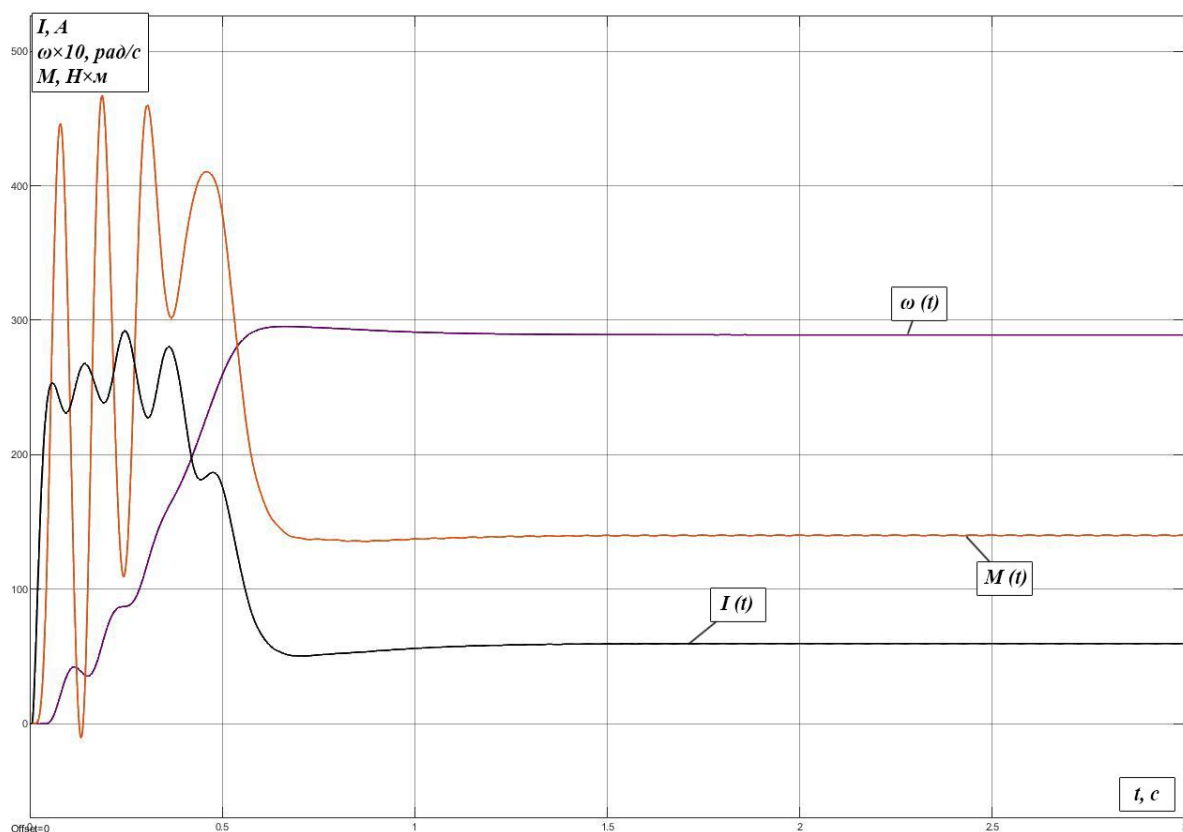


Рисунок 27 – Графики переходных процессов скорости $\omega = f(t)$, момента $M = f(t)$ и тока $I = f(t)$ при пуске АД с преобразователем частоты и IR компенсацией на частоте 10 Гц

Из рисунка 27 можно выделить то, что переходный процесс в режиме с вентиляторной нагрузкой достиг синхронной скорости $\omega_0 = 28 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, время необходимое для установившегося значения зависит от настроек преобразователя частоты. По графикам, можно сделать вывод, что в процессе пуска АД с IR компенсацией значение момента при низких частотах становится больше и время переходного процесса уменьшается.

На рисунке 26 видно, что время регулирования $t = 1,5 \text{ с}$. На рисунке 27 (с IR компенсацией), время регулирования $t = 1 \text{ с}$. Так же можно утверждать, что IR компенсация помогает запустить двигатель на низких частотах.

Графики переходных процессов скорости $\omega = f(t)$, момента $M = f(t)$ и тока $I = f(t)$ при пуске асинхронного электродвигателя с преобразователем

частоты и IR компенсацией с последующим регулированием приведены на рисунке 28.

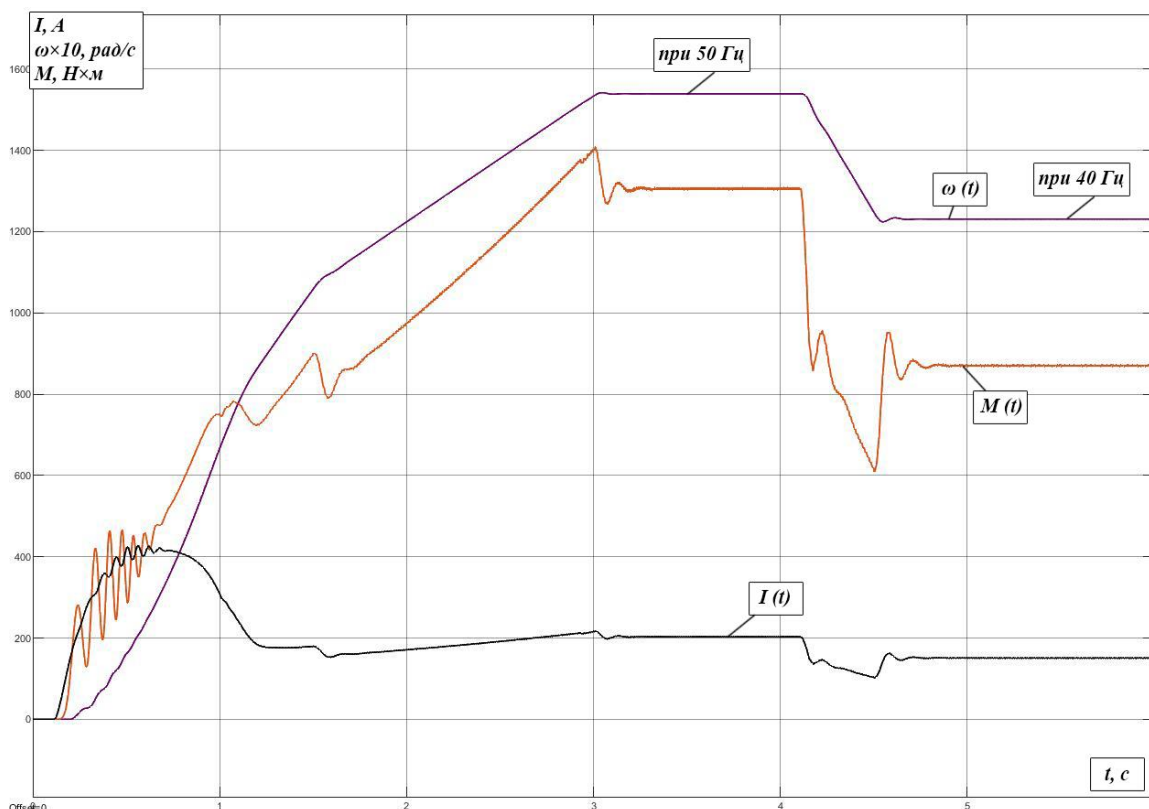


Рисунок 28 – Графики переходных процессов скорости $\omega = f(t)$, момента $M = f(t)$ и тока $I = f(t)$ при пуске асинхронного электродвигателя с преобразователем частоты и IR компенсацией с последующим регулированием

$$\text{до } \omega = 125 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Из рисунка 28 можно выделить то, что переходный процесс в режиме с вентиляторной нагрузкой достиг синхронной скорости $\omega_0 = 155 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, время необходимое для установившегося значения зависит от настроек преобразователя частоты. В момент времени $t = 4,2$ с. Происходит регулирование частоты вращения двигателя с помощью ПЧ до синхронной скорости $\omega = 125 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕУСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Тема дипломного проекта: «Асинхронный электропривод шахтного вентилятора». Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности проекта, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта;
- осуществить планирование этапов выполнения проекта;
- рассчитать бюджет проекта;
- произвести оценку ресурсной и экономической эффективности исследования.

4.2 Инициализация НТИ и его технико-экономическое обоснование

Современный рынок требует от отечественного производителя коренной реконструкции и модернизации устаревшего технологического оборудования. Совершенствование технологий производства с целью повышения качества продукции, экономии затраченных средств, внедрение новых идей и соответственно появление новых видов продукции с новыми качествами - все это в условиях свободной конкуренции на рынке требует от товаропроизводителя совершенствоваться и внедрять новое технологическое оборудование.

4.3 Потенциальные потребители результатов научно- технического проекта

Разработка проекта производится для «Распадской угольной 43

компании», находящейся в Кемеровской области в городе Новокузнецке.

Изменение в конструкции в течении времени:

На протяжении от 1 года до 10 лет настройку существующего электропривода осуществляет ремонтная служба предприятия и сервисная компания по ремонту производственного оборудования. Более 10 лет – только ремонтная служба предприятия.

Замену электропривода, и настройку от 5 и более лет производит ремонтная служба предприятия и сервисная компания.

Замену устройства, настройку электропривода осуществляет фирма – производитель оборудования (более 10 лет).

4.4 SWOT – анализ работы проектируемого стенда

SWOT – анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой комплексное исследование технического проекта.

Применительно к проектируемому стенду, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны, а также его возможности и угрозы.

Для проведения SWOT – анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

- С – сильные стороны проекта;
- Сл – слабые стороны проекта;
- В – возможности;
- У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Матрица SWOT

<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Высокая энергоэффективность и энергосбережение технологии;</p> <p>С2. Экологичность технологии;</p> <p>С3. Квалифицированный персонал;</p> <p>С4. Повышение безопасности производства;</p> <p>С5. Уменьшение затрат на ремонт оборудования;</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Трудность монтажа системы;</p> <p>Сл2. Дороговизна оборудования.</p> <p>Сл3. Сложность эксплуатации электрооборудования.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Увеличение производительности электрооборудования;</p> <p>В2. Появление дополнительной автоматизированной системы управления каротажной станцией;</p> <p>В3. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые на производстве каротажной станции;</p> <p>В4. Появление более простых универсальных электрических систем внутризаводской сети;</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на технологии производства;</p> <p>У2. Ограничения на экспорт технологии;</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции;</p>

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз (табл. 5, 6), позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+, -) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие).

Таблица 5 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
	С1	С2	С3	С4	С5
В1	+	+	+	+	+
В2	+	-	-	+	-
В3	-	+	-	-	+
В4	+	+	-	+	+
	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3		
В1	-	-	-		
В2	+	+	+		
В3	-	+	-		
В4	-	-	-		

Таблица 6 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
	С1	С2	С3	С4	С5
У1	-	-	+	-	-
У2	+	-	-	+	-
У3	-	-	-	+	+
У4	+	-	+	-	+
	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3		
У1	+	+	-		
У2	-	-	+		
У3	-	+	+		
У4	-	-	+		

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 5 и 6, показывает, что сильных сторон значительно больше, которые обладают наиболее сильными факторами, которые могут повлиять на проект, чем слабых. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности и незначительное воздействие, что говорит о высокой надежности проекта.

Разработка прототипа была нацелена на проверку ключевых технологических и функциональных предположений относительно поставленной задачи. Исследовательский прототип системы вентиляции, создавался для имитации работы частотного электропривода, датчиков, проверки производительности программного или аппаратного обеспечения, настройки регуляторов, симуляции аварийных ситуаций и реакции на них.

4.5 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Для анализа необходимо отобрать не менее трех конкурентных товаров и разработок, использующихся в проектировании.

1. Преобразователь частоты Siemens MIDIMASTER Eco6SE95, двигатель АИР315М4, дополнительное оборудование. Итого: 120 240 рублей.

2. Частотный преобразователь INNOVERT, электропривод ЭПЦ-1000, дополнительное оборудование. Итого: 131 450 рублей

3. ПЧ фирмы АВВ модель ACS880-01-031А-2, двигатель фирмы АВВ модель МЗВР 160 МLА, редуктор АВВ 1SDA 073732R1, дополнительное оборудование. Итого: 159 123 рублей.

Производим выбор варианта (комплекта) с использованием метода экспертных оценок.

Для проведения оценки выбраны следующие показатели: технические – производительность, помехозащищенность, точность, плавность протекания процессов, степень стандартизации и унификации, удобство управления, шум при работе и *экономические* – капитальные вложения, затраты на эксплуатацию, надежность.

По каждому критерию необходимо установить оценку степени обеспечения: Низкий – 1.0; средний – 0.5; высокий – 0.

Таблица 7 - Сравнительная характеристика электроприводов.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			примечание
		1	2	3	
1	2	3	4	5	4
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Производительность	1	0	0	0	равная у всех комплектов
2. Помехозащищенность	0,5	0	0,5	0	
3. Точность	0,5	0	0	0	у 3-го комплекта точность выше, у всех комплектов достаточная
4. Плавность протекания процессов	0,5	0	0	0	
5. Удобство встройки	0,2	0	0,5	0	дополнительные затраты на модуль связи
6. Степень стандартизации унификации	0,3	0	1	0,5	2-й комплект - модуль связи, 3-й двигатель больших размеров
7. Удобство управления	0,5	0	0,5	0	
8. Шум при работе	0,1	0,5	0,5	0	3-й комплект имеет лучшие показатели, т.к. ПЧ и АД одного производителя
Экономические критерии оценки эффективности					
9. Капитальные вложения	1	0	0,5	0,5	
10. Затраты на эксплуатацию	0,8	0	0	0	
11. Надежность	0,8	0	0,5	0	надежность 2-го комплекта ниже, т.к. модуль связи произведен штучно, а не серийно
Итого		0,5	1,85	0,65	

Из сравнительной характеристики электропривода видим, что Оптимальные технические данные и оптимальная стоимость в результате сравнения оказались у первого варианта, который и будем использовать в дальнейшем в проекте.

4.6 Организация и планирование научно-исследовательских и проектных работ

Планирование заключается в составлении перечня работ, необходимых для достижения поставленной задачи; определении участников каждой работы; установлении продолжительности работ в рабочих днях; построении линейного или сетевого графика и его оптимизации.

Календарный план ПНР составлен с учетом выходных праздничных

дней. На пуско-наладочные работы потребуется 12 рабочих дней. Результат испытаний ПНР обеспечивают работу электрооборудования в соответствии с действующими правилами устройства электроустановок, технической документацией предприятия-изготовителя.

Всего на разработку и ПНР проекта потребуется 21 рабочих дней, которые выполнят 2 человек: руководитель проекта, электромеханик.

Таблица 8 – Состав и структура основных этапов проектирования

Наименование этапов	Продолжительность этапов, рабочее время
Подготовительный этап	3
Разработка теоретической части темы	2
Составление функциональной схемы электропривода	1
Расчет и выбор оборудования (двигателя, преобразователя частоты, контроллера, расходомера)	2
Выбор метода управления АД	1
Расчет параметров схемы замещения АД	2
Построение статических характеристик АД	1
Компьютерное моделирование	5
Оформление пояснительной записки	4
Всего	21

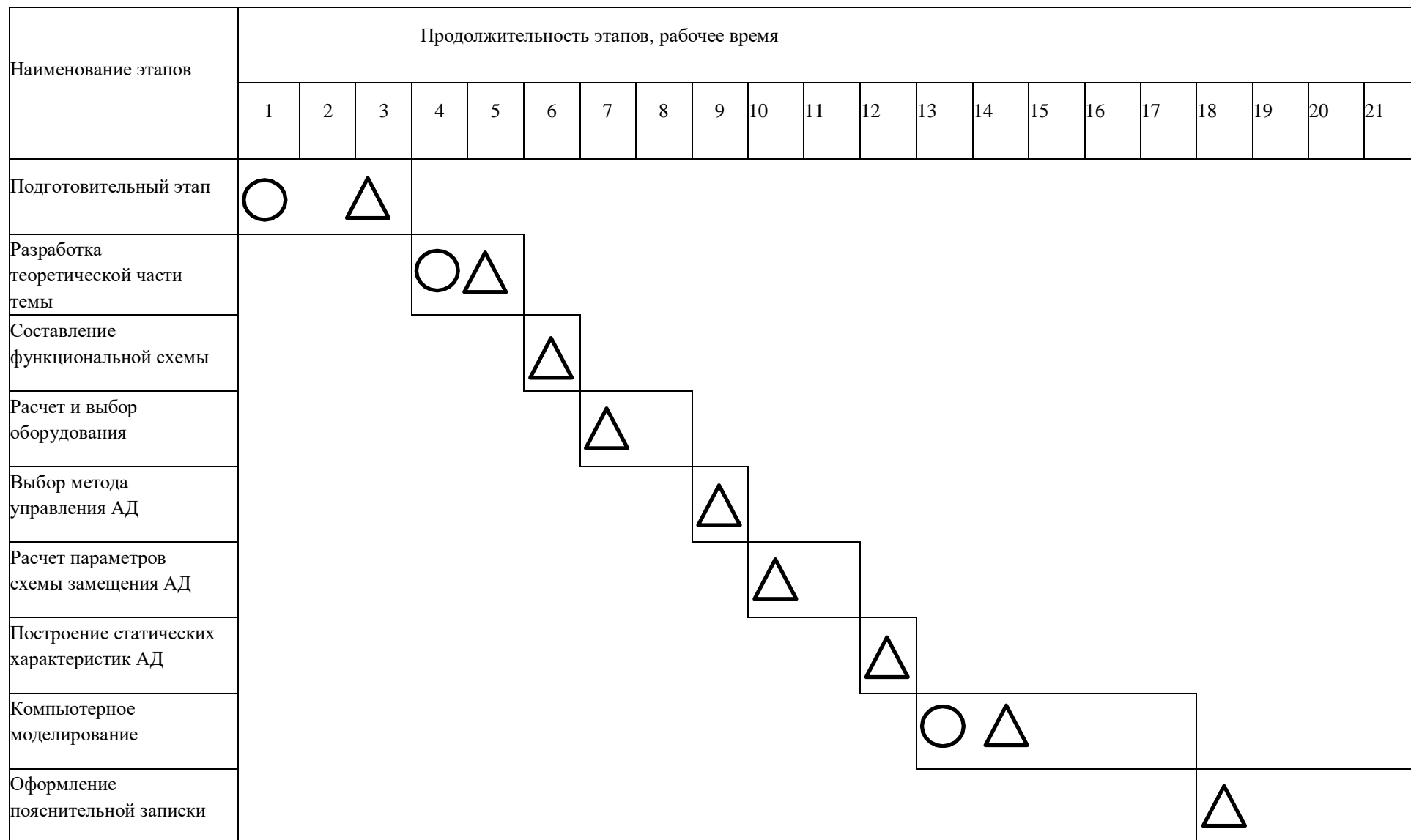


Рисунок 29 – Линейный график

○ – Руководитель △ – электромеханик.

4.7 Расчет затрат и договорной цены проекта электропривода

Осуществление проектной работы потребует расчеты следующих пунктов затрат:

- материальные затраты (электрооборудование);
- капитальные затраты (необходимое специальное и дополнительное оборудование, стоимость монтажных и пусконаладочных работ, а также транспортные расходы);
- расчет заработной платы исполнителей проекта;
- расчет пенсионных и страховых расходов;
- расчет накладных расходов;
- расчет расходов при эксплуатации электропривода;
- расчет амортизационных отчислений;
- расчет заработной платы обслуживающего персонала.

Таблица 9 – Затраты и договорная цена

Элементы текущих затрат	Сумма текущих затрат, руб.
Материальные затраты	120 240
Затраты на оплату труда	58139
Отчисления на социальные нужды	17557,98
Амортизация основных фондов и нематериальных активов	1402,8
Прочие затраты	276275,69
Итого себестоимость разработки	245 020
Прибыль	73506
Договорная цена	385 000

4.7.1 Материальные затраты

$$MЗ = Ц_{\text{Эп}} + Ц_{\text{конт}} + Ц_{\text{рас. метр}} + Ц_{\text{м. м}} = 79\,900 + 16\,500 + 2100 + 10325 = 120\,240 \text{ руб.}$$

где $C_{\text{Эп}}$ - цена электропривода

$C_{\text{рас.метр}}$ - цена расходомера,

$C_{\text{конт}}$ -цена контролера,

$C_{\text{м.м}}$ - цена манометра.

4.7.2 Затраты на оплату труда

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по проекту. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Зарботная плата работников представляет собой сумму двух составляющих: основная и дополнительная заработная плата.

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада.

Формула расчета заработной платы представлена ниже:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}$$

где $З_{зп}$ – заработная плата;

$З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Расчет основной заработной платы выполняем по формуле, представленной ниже:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p$$

где $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Расчет среднедневной заработной платы выполняем по формуле:

$$З_{дн.} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}$$

где: $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб.дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени персонала, раб.Дн.

Таблица 10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	366	
Количество нерабочих дней:		
- выходные и праздничные дни	66	
Потери рабочего времени:		
- отпуск, невыходы по болезни	52	
Действительный годовой фонд рабочего времени	248	

Зарплата работника за месяц рассчитывается по формуле:

$$Z_m = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p$$

где: Z_{TC} – заработная плата за месяц по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{TC});

k_d – коэффициент доплат и надбавок, равный 0,2;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

1) Расчёт заработной платы

$$Z_{м.рук} = 26624 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51916,8 \text{ руб.};$$

$$Z_{м.исп} = 21760 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 42432 \text{ руб.}$$

2) Расчет среднедневной заработной платы:

$$Z_{дн.рук} = \frac{51916,8 \cdot 10,4}{248} = 2177,16 \text{ руб.};$$

$$Z_{дн.исп} = \frac{42432 \cdot 10,4}{248} = 1779,4 \text{ руб.}$$

3) Расчёт основной заработной платы:

$$Z_{осн.рук} = 2177,16 \cdot 10 = 21771,6 \text{ руб.};$$

$$Z_{осн. исп} = 1779,4 \cdot 21 = 37\,367,4 \text{ руб.}$$

Результат расчетов представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_{TC} , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	26624	0,3	0,2	1,3	51916,8	2177,16	12	21771,6
Инженер	21760	0,3	0,2	1,3	42432	1779,4	86	37367,4
Затраты по основной заработной плате, руб.	58139							

4.7.3 Отчисления на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды составляют 30,2% от заработной платы.

$$C_{CH} = \sum ЗП \cdot 0,302 = 17557,98$$

4.7.4. Амортизация основных фондов и нематериальных активов

$$C_{AM} = \frac{1}{T_{сл}} \cdot K_{обор} \cdot \frac{21}{360} = \frac{1}{5} \cdot 120240 \cdot \frac{21}{360} = 1402,8 \text{ руб.}$$

где $T_{сл}$ – срок службы оборудования;

$K_{обор}$ – цена оборудования.

Таблица 12 – Стоимость оборудования необходимого для проектирования

Наименование	Стоимость, руб.
Преобразователь частоты MIDIMASTER Eсo6SE95	79 900
Электропривод АИР315М4	16 500
Контроллер SchneiderModiconM238	3 800
Датчик температур	21 000
Стационарный газоанализатор	10 325
ИТОГО	120240

4.7.5 Прочие затраты

Прочие затраты составляют 140% от суммы всех затрат.

$$\begin{aligned} Z_{np} &= (MZ + ЗПС + C_{ch} + C_{am}) \cdot 1,4 = \\ &= (120\,240 + 58139 + 17557,98 + 1402,8) \cdot 1,4 = 276275,69 \text{ руб.} \end{aligned}$$

4.7.6 Итого стоимость разработки

$$\begin{aligned} C &= MZ + ЗПС + C_{ch} + C_{am} + Z_{np} = \\ &= 120\,240 + 58139 + 17557,98 + 1402,8 + 276275,69 = 473\,615. \text{ руб.} \end{aligned}$$

4.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности, определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{p.i}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения включая ПНР.

$$\Phi_{p1} = 120\,240 \text{ руб.} + 320\,000 \text{ руб.} = 440\,240 \text{ рублей}$$

$$\Phi_{p2} = 131\,450 \text{ руб.} + 320\,000 \text{ руб.} = 451\,450 \text{ рублей}$$

$$\Phi_{p3} = \Phi_{\text{max}} = 159\,123 \text{ руб.} + 210\,000 \text{ руб.} = 469\,123 \text{ рублей}$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = 0,89$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = 0,92$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = 1$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах.

4.9 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Определяется следующим образом:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурс эффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы 13.

Таблица 13 - Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1 MIDIMAS TER Eco6SE95	Исп.2 INNOVERT	Исп.3 ABB модель ACS880- 01- 031A-2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	4	3	3
3. Помехоустойчивость	0,2	4	3	4
4. Энергосбережение	0,25	4	4	4
5. Надежность	0,3	5	3	4
6. Материалоемкость	0,2	5	4	3
Итого	1,3	4,6	3,9	4,2

$$I_{p-ucn1} = 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,01 = 4,6;$$

$$I_{p-ucn2} = 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 3,9;$$

$$I_{p-ucn3} = 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 = 4,2.$$

4.10 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки (I_{ucni}) определяется на основании интегрального показателя

ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{I_{\text{р-исп1}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}}} = 5,16$$

$$I_{\text{исп.2}} = \frac{I_{\text{р-исп2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}}} = 4,23$$

$$I_{\text{исп.3}} = \frac{I_{\text{р-исп3}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}}} = 4,2$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.1}}} = 1$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср2}} = \frac{I_{\text{исп.2}}}{I_{\text{исп.2}}} = 0,82$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср3}} = \frac{I_{\text{исп.3}}}{I_{\text{исп.3}}} = 0,8$$

Таблица 14 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1 MIDIMAS TER Eco6SE95	Исп.2 INNOVERT	Исп.3 ABB модель ACS880- 01- 031A-2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,89	0,92	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,9	4,2
3	Интегральный показатель эффективности	5,16	4,23	4,2
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,82	0,8

Сравнение значений с позиции финансовой и ресурсной эффективности указывает на первый вариант исполнения - преобразователь частоты фирмы HYUNDAI N700E-370HF, стоимостью 120 240 рублей, который и был использован в НТП.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. В результате проведения SWOT – анализа были выявлены сильные и слабые стороны проекта. Угрозы имеют низкие вероятности и незначительное воздействие, что говорит о высокой надежности проекта;

2. Произведен анализ конкурентных проектных технических решений. В результате проведения работы по сравнению и оценки критериев комплектов электроприводов выбран преобразователь частоты MIDIMASTER Eс06SE95, электропривод 4A315M4У3, контроллер SchneiderModicon M238, датчик температур, стационарный газоанализатор Vector. Данный комплект наиболее выгодный и наиболее эффективный по техническим показателям.

3. Произведено планирование работ по проекту, на выполнение которых потребуется 21 день,

4. Для реализации проекта, был засчитан бюджет, который составил 473 615,47 рублей, в которые вошли 120 240 рублей на приобретение электрооборудования, прочие затраты составили 276275,69 рублей.

5. Произведена оценка ресурсной и экономической эффективности исследования, мы рассмотрели три комплекта оборудования наиболее подходящих для нашего проекта и рассчитали и сравнили все необходимые показатели, а именно:

1) Интегральный финансовый показатель разработки;

2) Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки;
Интегральный показатель эффективности;

3) Сравнительная эффективность вариантов исполнения. Рассчитав вышеперечисленные показатели по каждому комплекту оборудования, определили, что самые высокие показатели эффективности у первого комплекта, который мы и внедряем в производство.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

5.1 Введение

Объектом проектирования является электропривод шахтного осевого вентилятора, который предназначен для регулирования скорости вращения вентилятора.

Под вредными условиями труда следует понимать присутствие на производстве таких факторов, которые наносят ущерб здоровью работников. То есть на рабочих местах не соблюдены определенные гигиенические требования, что может оказывать отрицательное воздействие на дееспособность служащих, а также на здоровье их возможных детей. Работникам предприятия приходится часто выполнять различные операции, сопряженные с прямым риском здоровью (вредные условия труда).

5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Какие сферы деятельности и специальности связаны с вредными условиями труда, указывается в постановлении РФ, должности с вредными условиями труда в нефтяной промышленности и строительстве, на меры социальной поддержки, Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда»

Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере, Трудовой кодекс РФ, часть первая в ред. Федерального закона от 28.12.2013 N 421-ФЗ [5].

Минимальный размер повышения оплаты труда работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, составляет 4 процента тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда, часть вторая в ред. Федерального закона от 28.12.2013 N 421-ФЗ.

Конкретные размеры повышения оплаты труда устанавливаются

работодателем с учетом мнения представительного органа работников в порядке, установленном статьей 372 настоящего Кодекса для принятия локальных нормативных актов, либо коллективным договором, трудовым договором, в ред. Федерального закона от 30.06.2006 N 90-ФЗ.

Люди, работающие на вредных производствах, обеспечиваются дополнительным оплачиваемым отпуском, трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).

Компенсация за вредные условия труда и ее размер устанавливаются на основании статей Трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия. Грамотная социальная политика - ключ к успеху предприятия, ведь эффективность работы напрямую зависит от эмоционального комфорта и позитивного настроения коллектива. Эффективная социальная политика и ответственные, партнерские отношения со своими работниками, являются важнейшими факторами долгосрочного устойчивого развития компании. Максимальная безопасность производства и забота о благосостоянии сотрудников были и остаются основными составляющими социальных программ. Ежегодно на социальные программы предприятие выделяет средства. Сюда входит:

- организация санаторно-курортного лечения, оздоровление работников и их детей;
- оказание медицинских услуг;
- развитие корпоративного спорта и культурно-массовой деятельности;
- материальное поощрение работников к юбилеям и знаменательным датам;
- материальная помощь работникам, нуждающимся в дополнительной социальной поддержке;
- единовременные компенсационные выплаты увольняющимся работникам в связи с выходом на пенсию;

5.3 Производственная безопасность

Таблица 15 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Превышение уровня шума	-	+	+	Параметры шума в помещении устанавливается СН 2.2.4/2.1.8.562– 96 Параметры вибрации устанавливаются Н2.2.4/2.1.8.566–96. Нормируется искусственное освещение в соответствии со СНиП 23-05-95. Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4.548-96 Защита от поражения электрическим током ГОСТ Р 50571.3-94.
2. Превышение уровня вибрации	-	+	+	
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	
4. Отклонение параметров микроклимата	-	+	+	
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	

5.4 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Часть технологического процесса исследования и проверки электропривода нагнетательной установки основана на работе с двигателем, который в свою очередь является источником повышенного уровня шума, что является вредным фактором производственной среды [6].

5.4.1 Повышенный уровень шума

Шум – один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу,

ослабление внимания, замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности [7].

При нормировании шума используют два метода:

- нормирование по предельному спектру шума;
- нормирование уровня звука в дБА.

Первый метод нормирования является основным для постоянных шумов. Здесь нормируются уровни в децибелах среднеквадратичных звуковых давлений в восьми октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Таким образом, шум на рабочих местах при продолжительности действия более 4 ч не должен превышать нормативных уровней, значения которых приведены в табл. 16.

Таблица 16 – Нормативные уровни звукового давления и уровни звука на постоянных рабочих местах

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ А
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Предприятия, учреждения и организации										
1 Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность:										
рабочие места в помещениях - дирекции, проектно-конструкторских бюро; расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Продолжение таблицы 16

2 Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории:										
рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, лабораториях	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
3 Работа, выполняемая с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами, работа, требующая постоянного слухового контроля, операторская работа по точному графику с инструкцией, диспетчерская работа:										
рабочие места в помещениях диспетчерской службы, кабинетах и помещениях наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону, машинописных бюро, на участках точной сборки, на телефонных и телеграфных станциях, в помещениях мастеров, в залах обработки информации на вычислительных машинах	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
4 Работа, требующая сосредоточенности, работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами:										
рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону; в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
5 Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в пп.1-4 и аналогичных им) на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Средства индивидуальной защиты(СИЗ) применяются в том случае, если другими способами обеспечить допустимый уровень шума на рабочем месте не удастся. Принцип действия СИЗ – защитить наиболее чувствительный канал воздействия шума на организм человека – ухо. Применение СИЗ позволяет предупредить расстройство не только органов слуха, но и нервной системы от

действия чрезмерного раздражителя. Наиболее эффективны СИЗ, как правило, в области высоких частот. СИЗ включают в себя противошумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы и каски, специальные костюмы.

5.4.2 Повышенный уровень вибрации

Одним из наиболее опасных для человеческого организма производственных факторов является вибрация. Под вибрацией понимается колебание твёрдых тел.

Вид вибрации: постоянная вибрация, которая за время наблюдения изменяется не более чем в два раза

Большое негативное воздействие этот фактор оказывает на отделы центральной нервной системы, желудочно-кишечного тракта и вестибулярного аппарата человека. Длительное воздействие вибрации на организм приводит к развитию профессиональных заболеваний, основным из которых является – виброболезнь, сопровождающаяся головокружением, онемением нижних конечностей и потерей ориентации в пространстве.

Большую опасность для организма представляют вибрации частотой 6- 9 Гц, так как эти частоты наиболее близки к собственным частотам внутренних органов человека. Совпадение частоты вибрации и внутреннего органа приведёт к резонансному явлению, в результате чего начнётся процесс разрушения.

Санитарно-гигиенические нормы вибрации представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Нормы вибрации

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

Для виброзащиты применяются средства индивидуальной защиты для рук, ног и тела оператора. В качестве средства защиты для рук применяются рукавицы и перчатки, вкладыши и прокладки по ГОСТ 12.4.002–97 "Система

стандартов безопасности труда. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний".

Виброзащитная обувь изготавливается в виде сапог, полусапог, в конструкции низа которых используется упругодемпфирующий материал (ГОСТ 12.4.024–76 "Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная виброзащитная. Общие технические требования").

5.4.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Специалисты полагают, что причина отрицательного воздействия может заключаться в изменении циркадных ритмов из-за недостатка естественного света. Поэтому следует уделять большее внимание достаточному дневному освещению для укрепления здоровья и морального состояния работников.

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов: от наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса.

К числу источников света массового применения относятся лампы накаливания, лампы ДРЛ, люминесцентные лампы. Лампы накаливания применяются там, где проводятся грубые работы, или осуществляется общий надзор за эксплуатацией оборудования. Кроме того, предпочтение лампам накаливания отдается во взрывоопасных и пожароопасных помещениях, в сырых помещениях, в помещениях с химически активной средой. Характеристика выполняемой зрительной работы для проекта относится к классу средней точности, где наименьший объект различия от (0,5 до 1,0 мм) в связи с этим значение КЕО при естественном освещении 1,5 %.

В таблице 18 приведены нормируемые значения КЕО.

Таблица 18 – Нормированные значения коэффициентов естественной освещенности (к.е.о.) в помещениях производственных зданий

Разряды работ	Характер работ, выполняемых в помещении		Нормы к.е.о. в %	
	виды работ, по степени точности	размеры объекта различения в мм	при верхнем и комбинированном освещении	при боковом освещении
1	2	3	4	5
I	Особо точные работы	0,1 и менее	10	3,5
II	Работы высокой точности	Более 0,1 до 0,3	7	2
III	Точные работы	Более 0,3 до 1	5	1,5
IV	Работы малой точности	Более 1 до 10	3	1
V	Грубые работы	Более 10	2	0,5
VI	Работы, требующие общего наблюдения за ходом производственного процесса без выделения отдельных деталей	-	1	0,25

5.4.4 Отклонение параметров микроклимата

Рабочая зона характеризуется:

- наличием большого количества металлического оборудования;
- повышенной температурой.

Оптимальные нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Оптимальные нормы микроклимата в рабочей зоне

Сезон года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Средней тяжести(IIa)	17–19	40–60	0,2
Теплый	Средней тяжести(IIб)	20–22	40–60	0,2

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

5.4.5 Повышенное значение напряжение в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека

При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), рассмотреть следующие вопросы [8]:

- обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- требования к электрооборудованию;
- анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;
- мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;
- обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

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

5.5 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)

5.5.1. Повышенный уровень шума

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются:

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

5.5.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях отсутствия естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда. В их число входят следующие:

- улучшение условий путем использования искусственного освещения;
- защита временем, то есть сокращение продолжительности пребывания работников в помещении без естественного освещения;
- профилактическое ультрафиолетовое облучение работников. В этом случае источники ультрафиолетового излучения устанавливаются рядом с обычными осветительными лампами, за счет чего достигается обогащение обычного искусственного освещения ультрафиолетовым излучением.

При недостатке естественного освещения в помещениях также возможно принятие следующих мер:

- анализ степени загрязненности стекол в светопроемах, их очистка и дальнейшие контрольные измерения коэффициента естественной освещенности, который показывает, какая часть наружного освещения попадает на рабочие места производственного помещения;
- при наличии в помещении зон с недостаточным и достаточным уровнем естественного освещения изменение размещения рабочих мест с их переносом в зону с достаточным уровнем естественного освещения;
- косметический ремонт помещения с применением светлых отделочных материалов.

5.5.3 Отклонение параметров микроклимата

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

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

5.5.4 Повышенный уровень вибрации

При использовании виброопасных ручных инструментов работы следует проводить с применением режимов труда, которые должны обеспечивать [9]:

- общее ограничение времени воздействия вибрации в течение рабочей смены;
- ограничение длительности непрерывного одноразового воздействия вибрации;
- использование регламентированных перерывов для активного отдыха и лечебно-профилактических процедур.

Для снижения вибрации в источнике ее возникновения необходимо производить выбор технологии и оборудования, исключающих ударные и резкие динамические процессы. Большое значение имеет точность изготовления вращающихся деталей, их статическая и динамическая балансировка и отстройка режимов вращения от собственной частоты колебаний путем изменения скорости вращения, массы колеблющейся системы или ее жесткости.

Виброизоляция машин или рабочих площадок осуществляется путем введения упругих связей (виброизоляторов) между машиной и основанием или основанием и рабочей площадкой. Виброизоляторы выполняются в виде стальных пружин, рессор, прокладок из резины, резинометаллических конструкций и др.

- Вибродемпфирование – уменьшение уровня вибрации защищаемого объекта путем превращения энергии механических колебаний системы в другие виды энергии. Увеличение потерь энергии достигается использованием в качестве конструктивных материалов с большим внутренним трением (полимерных материалов); нанесением специальных покрытий из пластмассы, линолеума «Агат», мастики «Антивибрит», резины специальных марок и др. на вибропроводящие поверхности.

- Виброгашение – уменьшение уровня вибрации путем введения в колебательную систему дополнительных масс или увеличения жесткости системы. Реализуется путем установки оборудования на самостоятельные

фундаменты. Применяется для тяжелого оборудования.

5.5.5 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [6] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [10] п.413. Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока.

Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание. Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением при пробое изоляции или в других случаях, необходимо рассчитать и установить защитное заземление

5.6. Экологическая безопасность

Работа в цеху сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов. Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения - ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения; бытовая пыль; ЛОС, выделяющиеся в процессе эксплуатации отделочных

материалов, лакокрасочных покрытий мебели и др. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях [9].

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

5.7. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации на рассматриваемом рабочем месте в механическом цехе это возникновение пожара, взрыв метана и угольной пыли, электропоражение.

5.7.1. Пожар (загорание) – наиболее вероятная ЧС

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования. Пожарная профилактика обеспечивается:

- системой предотвращения пожара;

- системой противопожарной защиты;
- организационно-техническими мероприятиями.

К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности. К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м³. Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действия администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 101 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается первая помощь.

5.8 Вывод по разделу социальная ответственность

Практическая значимость раздела «Социальная ответственность» выражается в улучшении условий труда работающих и снижения влияния

вредоносных факторов на работников, и как следствие:

- рост производительности труда;
- снижение травмопасности и несчастных случаев на рабочих местах;
- уменьшение простоев оборудования;
- удовлетворенность работников своим трудом;
- стабильность трудовых ресурсов: отсутствуют миграции, вследствие плохих социальных условий в районе проживания и работы и т.п.;
- повышение дисциплины и культуры труда;
- сохранением здоровья и трудовой продолжительности жизни, как следствие этого наличие перспектив;
- психологическая устойчивость работников, как в обычных, так и экстремальных условиях деятельности;
- повышением интереса к самообразованию и заинтересованности в повышении культурного уровня, в том числе и технического;
- снижением текучести кадров за счет неудовлетворенности условиями труда.

Заключение

Целью данной выпускной квалификационной работы является проектирование электропривода шахтного вентилятора с требованиями технического задания и исследования его работы. Разработка модели в программе MATLAB Simulink. Исследования переходных, динамических, механических характеристик.

В ходе проектирования был выбран асинхронный электродвигатель АИР315М4 и преобразователь частоты компании Siemens MIDIMASTER Eсo6SE95.

Для работы была выбрана система со скалярным управлением и законом $\frac{U}{f^2} = const$ с IR компенсацией, как наиболее подходящая для вентиляторной установки и имеющая достаточный диапазон регулирования. IR компенсация позволяет работать привода на низких частотах.

Для реализации цели работы были решены следующие задачи:

1. Разработана модель осевого шахтного вентилятора по системе ПЧ-АД;
2. Рассчитаны статические и динамические характеристики вентилятора.

В разделе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение экономической выпускной квалификационной работы проведен анализ потенциальных рисков и разработаны меры по управлению ими. Определена себестоимость, цена и рентабельность продукции.

Данная выпускная квалификационная работа содержит информацию об условиях, которые должны быть обеспечены на узлах связи для безопасного труда рабочих и обеспечения должного состояния их здоровья.

Список литературы

1. Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Расчет характеристик электроприводов переменного тока. Ч. 1. Асинхронный электродвигатель: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 136с.
2. Г.Г. Соколовский «Электроприводы переменного тока с частотным регулированием» Учебник, М.: Издательство АСАДЕМА, 2006 – 259с.
3. Преобразователя частоты Siemens – предлагаема продукция. [Электронный курс] <https://www.cta.ru.cms/f/366682.pdf>
4. В.В. Тимошкин, И.А. Чернышев, А.Ю. Чернышев, Н.А. Воронина. Проектирование и исследование асинхронных электроприводов: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2018. – 150с.
5. Федеральный закон о специальной оценки условий труда. [Электронный курс] https://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555
6. С.В. Белова. Охрана окружающей среды. – Москва: Высшая школа, 1991. –319с.
7. СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с изменением N1)
8. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, No204, Глава 1.7.
9. Долин П. А. Справочник по технике безопасности. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 824 с.
10. Правила устройства электроустановок. 6-е изд. - Энергоатомиздат. 2000. - 640 с.