

Институт	Институт электронного обучения
Специальность	140610 «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»
Кафедра	Кафедра электропривода и электрооборудования

Тема работы
Электрооборудование и режимы работы шахтного осевого вентилятора ВМЭ

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7401	Кологривов Евгений Андреевич		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Кладиев Сергей Николаевич	К.Т.Н.		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Трофимова Маргарита Николаевна			

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент, зав. кафедрой ЭПЭО	Дементьев Юрий Николаевич	Ph.D., к.т.н.		

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

Институт электронного обучения
140610 «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»
Кафедра Электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Ю.Н. Дементьев
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломного проекта

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

Студенту:

Группа	ФИО
З-7401	Кологривов Е.А.

Тема работы:

Электрооборудование и режимы работы шахтного осевого вентилятора ВМЭ

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

26. 06. 2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<i>Объектом проектирования является электрооборудование шахтного вентилятора. Исходными данными являются производительность $Q = 7 \text{ м}^3/\text{с}$, полное давление $P = 2500 \text{ Па}$.</i> <i>Сеть трёхфазная, $380 \pm 10\% \text{ В}$, $50 \pm 1 \text{ Гц}$; Режим работы электропривода продолжительный, нагрузка реактивная, диапазон регулирования $D=1:10$. Погрешность поддержания заданной частоты вращения ротора не более 10 % на нижней рабочей скорости.</i>
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов:	<i>При проектировании и разработке электрооборудования электронасосного агрегата необходимо:</i> <i>Из анализа литературных источников сформировать требования к системам электрооборудования электронасосных агрегатов, провести расчет максимальной потребляемой мощности, расчет и выбор элементов системы электрооборудования. Выбор блока управления электроприводом. Привести общую принципиальную схему системы</i>

	электрооборудования электропривода электронасосного агрегата. В специальной части провести исследование неисправностей системы электрооборудования, Разработать разделы по технологической, экономической частям и рассмотреть вопросы экологии и техники безопасности.
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Основной общий и специальный разделы ВКР	Руководитель дипломной работы Кладиев С.Н.
Экономическая часть ВКР	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение
Раздел экология и техника безопасности	Социальная ответственность
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Основная и специальная части, экономическая часть и раздел экология и техника безопасности – русский язык	
Должно быть написано на русском и иностранном языке. Реферат – на русском и иностранном языке	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	26. 01. 2016 г.
---	-----------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф ЭПЭО	Кладиев С.Н.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7401	Кологринов Е.А.		

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

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
 «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-7401	Кологровов Евгений Андреевич

Институт	ИнЭО	Кафедра	Электропривода и электрооборудования
Уровень образования	специалист	Направление/специальность	140610 «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

ЗАДАНИЕ	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	1. Выявление опасных и вредных производственных факторов – вредных проявлений факторов производственной среды (вредные вещества, освещение, шумы, вибрации) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (гидросферу, литосферу) 2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке	1. Мероприятия по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на работающих – Анализ выявленных опасных и вредных факторов производственной среды – Организационные мероприятия профилактики и устранения выявленных производственных факторов 2. Производственная санитария – приведение допустимых норм с необходимой размерностью – предлагаемые средства защиты 3. Расчёт освещения – Выбор системы освещения – Выбор источника света и типа светильника – Расчёт общего равномерного освещения 4. Пожарная безопасность 5. Экология – Причины воздействия на окружающую среду, мероприятия по их снижению
Перечень графического материала: Размещение светильников в помещении.	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин А. А.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7401	Кологровов Е.А.		

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

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-7401	Кологровов Евгений Андреевич

Институт	ИнЭО	Кафедра	Электропривода и электрооборудования
Уровень образования	специалист	Направление/специальность	140610 «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

ЗАДАНИЕ

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	- Выбор структурной (принципиальной) схемы электропривода. - Выбор производится на основе сравнения нескольких вариантов. - Оценка осуществляется по балльной системе - Расчет сметы затрат на проектирование - Заработная плата определяется на основании тарифных ставок, повременно с учетом районного коэффициента - Расходы на материалы и комплектующие определяются на основании рыночных цен - Накладные расходы определяются в процентах к другим статьям расходов - Расчет капитальных вложений на реализацию проекта.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	- Анализ и оценка научно-технического уровня проекта - Расчет и анализ затрат на ремонтно-эксплуатационное обслуживание (ППР электропривода)
Перечень графического материала:	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Трофимова М.Н.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7401	Кологровов Е.А.		

Техническое задание

Разработать регулируемый электропривод шахтного вентилятора, удовлетворяющий следующим техническим требованиям и характеристикам.

1. Режим работы – продолжительный, нагрузка реактивная.
2. Электропривод нереверсивный, диапазон регулирования $D = 1: 10$.
3. Погрешность поддержания заданной частоты не более 10 % на нижней рабочей скорости.
4. Управление электроприводом - ручное, с пульта управления обслуживающим персоналом
5. Электродвигатель должен быть предназначен для работы в условиях повышенной температуры, иметь закрытое исполнение со степенью защиты не ниже IP54.
6. Преобразователь должен быть предназначен для работы в закрытых стационарных помещениях при температуре окружающего воздуха от 5° до 45°C и относительной влажности не более 80% .
7. Система управления электроприводом должна обеспечивать надежную защиту от перегрузок и аварий, простоту управления и обслуживания.
8. Сеть трёхфазная, $380 \pm 10\% \text{ В}$, $50 \pm 1 \text{ Гц}$.

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 120 страниц, 21 рисунок, 8 таблиц, 12 источников, 1 приложение, 1 листа графического материала.

ЭЛЕКТРОПРИВОД ВЕНТИЛЯТОРА, АСИНХРОННЫЙ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

Объектом выпускной квалификационной работы является разработка регулируемого электропривода шахтного вентилятора. Цель работы – разработка и исследование асинхронного частотно-регулируемого электропривода вентилятора.

В выпускной квалификационной работе был произведён расчет и выбор приводного двигателя; преобразователя частоты, а также определены параметры силовой цепи. Обоснован выбор способа управления, рассчитаны механические и электромеханические характеристики. Методом имитационного моделирования на ЭВМ исследованы переходные процессы в основных режимах работы.

В разделе экономики произведен расчет сметы на пуско-наладочные работы электропривода вентилятора.

В разделе безопасность и жизнедеятельность труда рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности. Проанализированы опасные и вредные факторы производства. Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord 2010, в работе использованы программы MathCAD, MicrosoftVisio 2010, MicrosoftPowerPoint, Simulink (MatLab).

Essay

Final qualifying work contains 120 pages, 21 figures, 8 tables, 12 source application 1, 1 sheet of graphic material.

ELECTRIC FAN, asynchronous variable frequency drives, DRIVE, AUTOMATIC CONTROL, static and dynamic characteristics.

The object of final qualifying work is the development of a controlled mine fan drive. Objective - Research and development of asynchronous frequency-controlled electric fan.

In the final qualifying work was made the calculation and selection of the drive motor; frequency converter, as well as determining the parameters of the main circuit. The choice of control method, designed mechanical and electromechanical characteristics. The method of computer simulation investigated the transients in the main modes of operation.

In the calculation of the economy produced estimates on the commissioning of the fan drive.

In the safety and livelihoods of the issues of occupational health and safety. Analyzed the dangerous and harmful factors of production. Final qualifying work is done in a text editor MicrosoftWord 2010 used in the MathCAD program, MicrosoftVisio 2010, MicrosoftPowerPoint, Simulink (MatLab).

Содержание	
Введение	11
1 Технологический процесс работы вентилятора	12
1.1 Классификация вентиляторов, их конструкция	12
1.2 Вентиляция тупиковых выработок	13
1.3 Схемы и способы вентиляции тупиковых выработок.....	14
1.3.1 Проветривание за счет общешахтной депрессии	14
1.3.2 Нагнетательный способ проветривания тупиковых выработок...	14
1.3.3 Всасывающий способ проветривания	16
2. Выбор оборудования и расчет параметров.....	20
2.1 Аэродинамические характеристики и параметры вентилятора ВМЭ-6	20
2.2 Выбор приводного двигателя.....	24
2.3 Определение параметров схемы замещения двигателя	26
2.4 Расчет естественных характеристик электродвигателя.....	30
2.4.1 Расчет естественной характеристики: механической.....	30
2.4.2 Расчет естественной характеристики: электромеханической	31
2.5 Механическая характеристика вентилятора в режиме работы с максимальным давлением	33
3 Обзор систем управления и способов регулирования электропривода ...	35
3.1 Системы управления электроприводом	35
3.2 Выбор закона частотного регулирования.....	36
3.3 Выбор преобразователя частоты	36
4 Расчет статических характеристик системы преобразователь – двигатель при частотном регулировании	41
4.1 Система преобразователь – двигатель. Закон регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$. Механические характеристики	42
4.2 Система преобразователь – двигатель. Закон регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$. Электромеханические характеристики.....	45
5 Асинхронный электропривод со скалярным управлением. Частотно-регулируемый	48

5.1 Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением.....	52
5.2 Исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода вентилятора со скалярным управлением	56
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	60
6.1 Выбор и обоснование структурной (принципиальной) схемы электропривода	60
6.2 Анализ и оценка научно-технического уровня проекта (НТУ).....	63
6.3 Планирование проектных работ.....	65
6.4 Расчет сметы затрат на проектирование	66
6.5 Расчет капитальных вложений на реализацию проекта.....	67
6.6 Расчет расходов при эксплуатации электропривода.....	68
6.7 Издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов	70
7. Социальная ответственность	73
7.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	73
7.2 Микроклимат на рабочем месте	75
7.3 Рудничное освещение	78
7.4 Защита от шума и вибрации	84
7.5 Электробезопасность.....	86
7.6 Обрушения горных выработок	90
7.7 Взрывы газа и пыли	92
7.8 Рудничные пожары.....	96
7.9 Первичные средства пожаротушения в шахте	98
7.10 Выбросы пород и газа	99
7.11 Горные удары	101
7.12 Прорывы воды и глины	102
7.13 Горноспасательное дело	104
7.14 Экологическая безопасность	106
Заключение	109
Список использованных источников	111

Введение

Атмосфера подземных горных выработок шахт в силу ограниченного их объема легко насыщается различными вредностями техногенного или природного характера. Превышение допустимых концентраций вредностей опасно для здоровья и жизни работающих в выработках и ограничивает возможности проведения производственных процессов. Основное направление борьбы с вредностями в подземных горных выработках – их разжижение подаваемым в выработки свежим воздухом до допустимых концентраций.

Современное горное предприятие немыслимо без принудительной вентиляции. Прекращение проветривания влечет за собой остановку всего технологического комплекса шахты или рудника, к выводу людей на поверхность, прекращению работы всех машин и механизмов. От надежной, безотказной работы системы проветривания полностью зависит безопасность, а зачастую и жизнь людей, работающих в шахте.

Возникновение движения воздуха в некотором объеме связано с наличием в этом объеме зон, обладающих более высоким уровнем энергии по сравнению с уровнем, необходимым для состояния покоя. Воздух движется от зоны с большим энергетическим уровнем к зоне с меньшим уровнем.

В связи с необходимостью наличия в шахтных условиях надежного, необходимой мощности и управляемого источника сил движения воздуха, в качестве основного источника этих сил используется вентилятор.

Вентиляторы широко применяются во всех отраслях промышленности. На их привод расходуется огромное количество электроэнергии, вырабатываемой в стране. В частности, в горной отрасли на привод вентиляторов, обслуживающих шахту, уходит до 8 - 10% электроэнергии расходуемой всей шахтой. В связи с этим, создание высокоэкономичных вентиляторов и правильное их использование имеет большое экономическое значение.

1 Технологический процесс работы вентилятора

1.1 Классификация вентиляторов, их конструкция

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

По назначению вентиляторы шахтные условно делятся на три группы:

- Вентиляторы главного проветривания,;
- Вентиляторы вспомогательные;
- Вентиляторы местного проветривания (ВМП), которые обеспечивают воздухом отдельный забой, тупиковую выработку или рабочее место.

Конструкции шахтных вентиляторов.

Все вентиляторы для горной отрасли относятся по конструкции к «лопастным нагнетателям».



Рисунок 1.1- Внешний вид шахтного вентилятора

Осевые вентиляторы. Осевой вентилятор (рис.1.1) состоит из рабочего колеса 1, на втулке которого закреплены профильные (в форме крыла самолета) лопадки 2; рабочее колесо вращается в цилиндрическом корпусе или, как его

часто называют, кожухе 3. За рабочим колесом располагается спрямляющий аппарат (СА) с неподвижными лопатками 4.

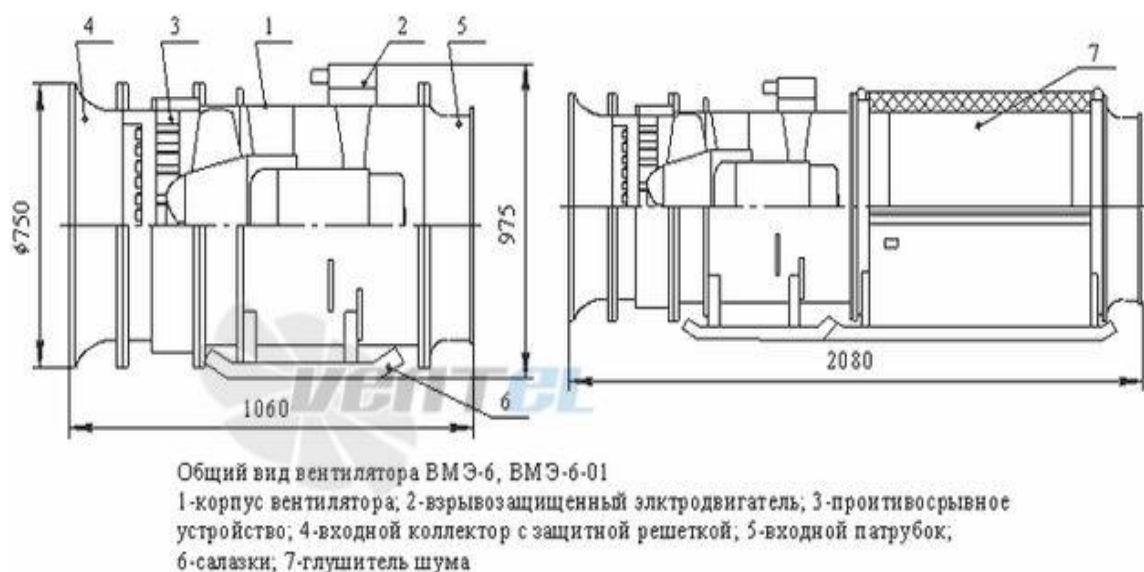


Рисунок 1.2 – Схема осевого вентилятора: 1 – корпус вентилятора; 2 – лопатки рабочего колеса; 3 – кожух; 4 – спрямляющий аппарат; 5 – коллектор; 6 – диффузор.

1.2 Вентиляция тупиковых выработок

Проветривание производится за счет работы вентилятора главного проветривания, а также естественной тяги вентиляторов местного проветривания (ВМЭ), эжекторов и т.п. Проводимые парным забоем, выработки, в большом количестве случаев проветриваются за счет общешахтной вентиляции и работы ВМП.

При проведении тупиковых выработок на вентгоризонте с разрешения главного инженера и технолога шахты возможна установка шахтного вентилятора на исходящей струе, но только при условии, что содержание метана в ней не будет выше 0,6% и содержание токсичных газов находится в пределах установленных санитарных норм.

При проведении горных выработок в угольных шахтах могут быть использованы различные способы и схемы проветривания.

1.3 Схемы и способы вентиляции тупиковых выработок

1.3.1 Проветривание за счет общешахтной депрессии

Из известных способов наиболее простым, не требующим больших материальных и трудовых затрат, является проветривание горных выработок за счет общешахтной депрессии

В нашей стране на угольных шахтах проветривание тупиковых горных выработок за счет общешахтной депрессии с помощью навески парусов или возведения перегородок разрешается при длине тупиковой части выработок не более 55 м.

В настоящее время преобладающим способом вентиляции тупиковых выработок является проветривание с помощью вентилятора.

1.3.2 Нагнетательный способ проветривания тупиковых выработок

Большое распространение в нашей стране и в других странах получил нагнетательный способ проветривания с применением гибких вентиляционных труб и вентиляторов местного проветривания (рис. 1.3).

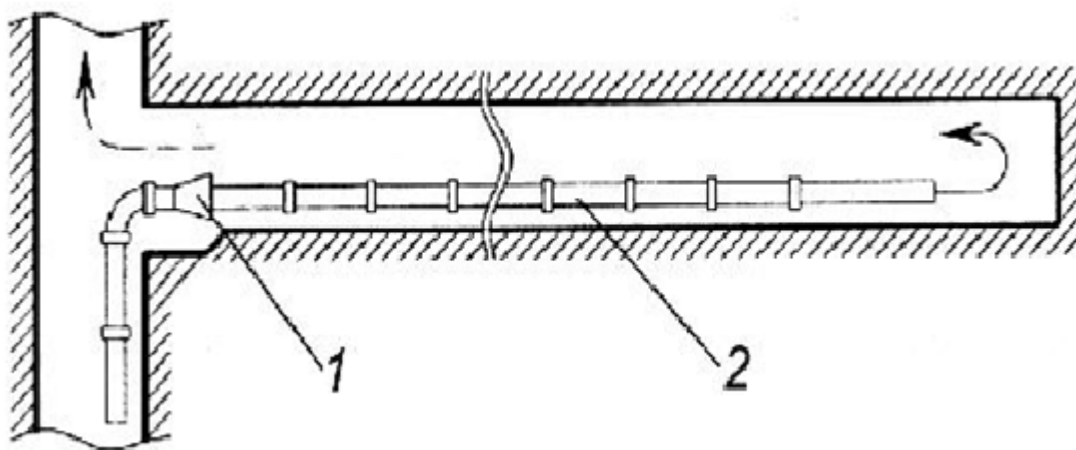


Рисунок 1.3 - Схема нагнетательного проветривания тупиковой выработки: 1 – нагнетательный вентилятор; 2 – нагнетательный трубопровод.

Нагнетательный способ применяется в выработках, где из стенок, кровли или почвы выделяются горючие или ядовитые газы, а также обескислороженный воздух. В остальных случаях можно применять любой

способ проветривания.

При нагнетательной вентиляции с помощью вентилятора в выработке могут существовать три зоны вынужденного движения воздуха с различной аэродинамической структурой (рис. 1.4): *I* - зона вихревого движения; *II* - зона действия струи вентилятора; *III* - зона поступательного движения.

I зона существует при значительном расстоянии конца трубопровода от забоя. В таком случае частично ограниченная струя, выходящая из трубопровода, отражается от заполняющих *I* зону масс воздуха и поворачивает в направлении к устью выработки. Если этот вихрь не заполняет всю длину *I* зоны, за ним может образоваться второй вихрь и т.д. Вследствие маленькой внутренней вязкости воздуха взаимодействие между струей ВМП и первым вихрем будет слабым, а передача энергии от свободной струи к вихрю небольшой.

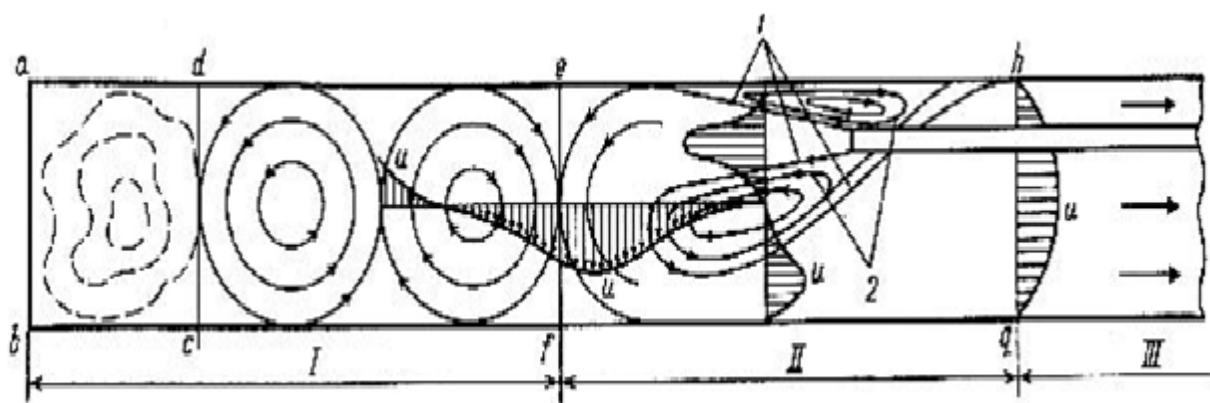


Рисунок 1.4 - Схема аэродинамических зон в тупиковой выработке при нагнетательной вентиляции: *I*, *II*, *III* – аэродинамические зоны; 1 – граница ядра постоянной массы; 2 – присоединенные массы.

Созданию благоприятной обстановки по газу в забое способствует также то, что метан, выделяющийся с обнаженных поверхностей угольного пласта (стенок выработки), удаляется с мест его выделения непосредственно в сторону устья проветриваемой выработки, т. е. исключается возможность его поступления в забой.

1.3.3 Всасывающий способ проветривания

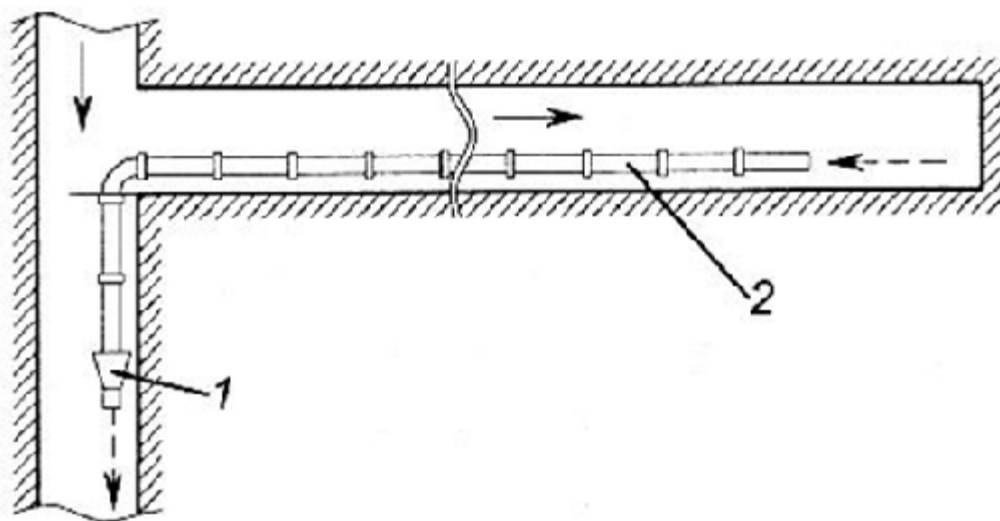


Рисунок 1.5 - Схема всасывающего проветривания тупиковой выработки: 1 – всасывающий вентилятор; 2 – всасывающий трубопровод.

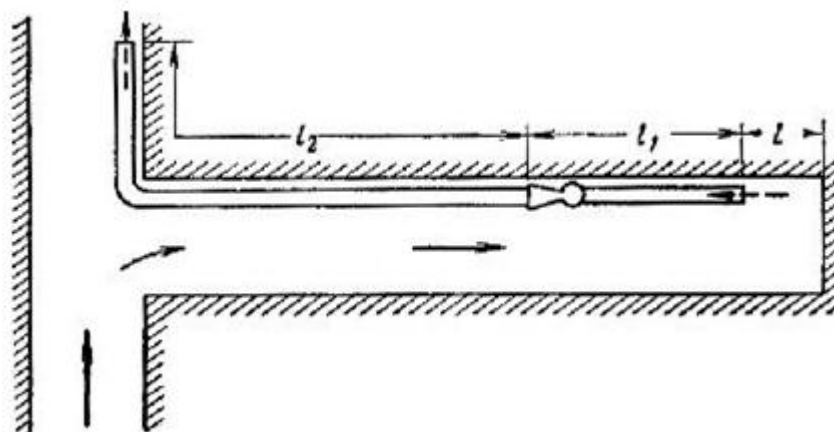


Рисунок 1.6 - Всасывающее проветривание призабойным вентилятором.

Основная часть газов выбрасывается из конца трубопровода в исходящую струю.

Следует также отметить, что всасывающий способ характеризуется низким коэффициентом использования воздуха (0,08–0,2) из-за ограниченности поля активного воздействия всасывающей воздушной струи (рис. 1.5).

Вследствие разрежения воздуха в трубопроводе за счет действия вентилятора наружный воздух устремляется в трубопровод. В свободном

пространстве у всоса создается скоростное поле, имеющее круглую шарообразную форму (рис. 1.6). По мере удаления она резко уменьшается и на расстоянии, равном одному диаметру трубы, скорость воздушного потока составляет менее 7% скорости во всасывающем отверстии, а на расстоянии двух диаметров скорость весьма незначительна. Это показывает, что район действия всасывающего отверстия распространяется на небольшое расстояние.

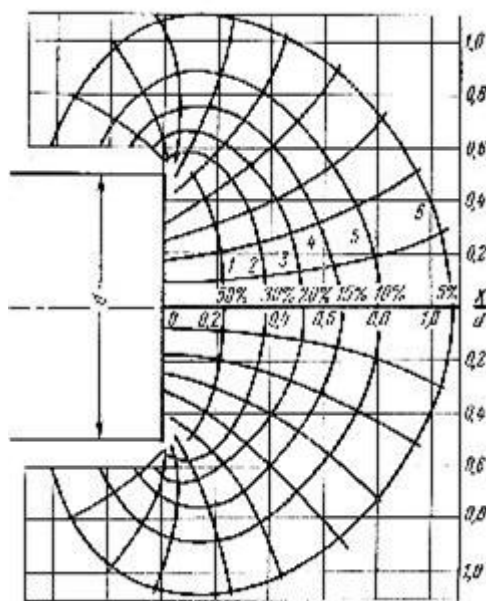


Рисунок 1.7 - Район действия всасывающего трубопровода

Форма засасываемой струи в условиях проветриваемой выработки изменяется под влиянием близкорасположенных стенок и забоя выработки.

Наряду с процессами всасывания на размыв газового облака в выработке действует диффузия. Газы из области с большой концентрацией перемещаются в область с меньшей концентрацией. Взаимодействие этих двух факторов (всасывание и диффузия) вызывает очищение при забойного пространства от газов.

При данном способе проветривания для эффективного вымывания, газов от забоя расстояние от конца трубопровода до забоя не должно превышать $0,51 \sqrt{S}$ м (S – сечение выработки). При большем расстоянии у забоя может образоваться трудно проветриваемая зона.

При всасывающей вентиляции в тупиковой выработке также можно

выделить три аэродинамические зоны (рис. 1.8): *I*-зона вихревого движения, *II*-зона действия всасывающего отверстия трубопровода, *III* - зона поступательного движения. *I* зона подобна аналогичной зоне при нагнетательной вентиляции. Кроме того, объемный характер засасывания воздуха в трубопровод может препятствовать образованию единого вихря в *I* зоне. Отмеченные особенности определяют малую вероятность упорядоченного вихревого движения в этой зоне.

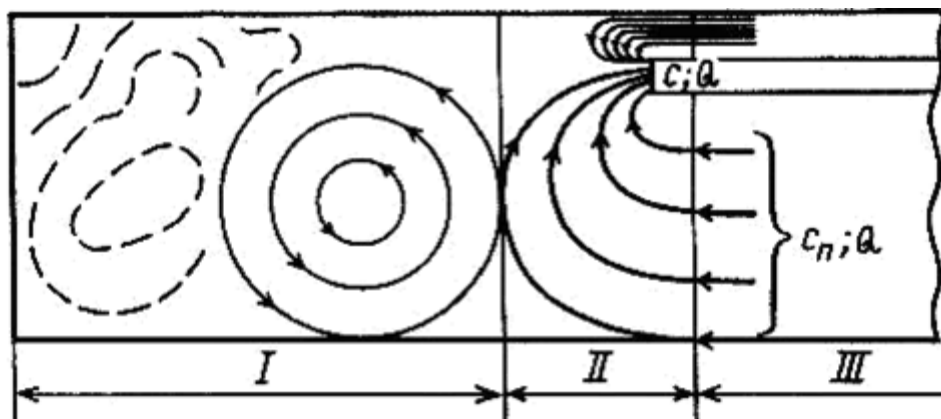


Рисунок 1.8 - Схема аэродинамических зон в тупиковой выработке при всасывающей вентиляции: *I*, *II*, *III* - аэродинамические зоны

II зона - это область ограниченного потока, возмущенная действием стока всасывающего отверстия вентиляционного трубопровода. Движение в этой области характерно искривлением линий тока, ранее прямолинейных, и стягиванием их к отверстию трубопровода.

III зона - это зона ограниченного потока, не отличающаяся от подобной зоны при нагнетательной вентиляции.

Наблюдения на модели показывают, что форма вихрей в *I* зоне может быть круглая, вытянутая и даже неправильная. Между вихрями часто располагаются области неупорядоченного движения. При всасывающей вентиляции газоперенос в *I* зоне качественно аналогичен переносу в *I* зоне при нагнетательной вентиляции. Различие может носить лишь количественный характер вследствие меньшей интенсивности движений при всасывающей вентиляции.

Во *II* зоне преобладает конвективный перенос газа в направлении основного движения, усиливающийся по мере приближения к устью трубопровода. Соответственно возрастает роль молекулярного переноса и процесса вытеснения. Эти три вида переноса обеспечивают поступление газа во *II* зону из *I* зоны, а также со стенок выработки в пределах *II* зоны, если они являются газоотдающими. Роль остальных видов переноса та же, что в аналогичной зоне при нагнетании. Вследствие различия скоростей движения воздуха в поперечном сечении *III* зоны центральная часть загазованного объема будет перемещаться к отверстию трубопровода быстрее, периферийные (пристеночные) области будут отставать.

2. Выбор оборудования и расчет параметров

2.1 Аэродинамические характеристики и параметры вентилятора ВМЭ-6

ВМЭ-6 - вентилятор шахтный местного проветривания (рисунок 1.1) осевой с электрическим приводом, одноступенчатый, взрывобезопасного исполнения, скорость вращения Р.К. 2946 об/мин и имеет непосредственное соединение с двигателем. Взрывозащищённость обеспечивается применением двигателей во взрывобезопасном исполнении оболочки, которые выдерживают давление взрыва газов внутри двигателя (в случае его возникновения), а также выполнением необходимых размеров стыков, воздушных зазоров и класса чистоты сопрягающихся поверхностей в соответствии с ГОСТ Р 51330.0-99, ГОСТ Р 51330.1-99. Вентиляторы рассчитаны на эксплуатацию с гибким или жестким трубопроводом диаметром 600 и 800 мм. Конструкция вентилятора позволяет соединить последовательно два, а в отдельных случаях и три вентилятора одного типоразмера, когда этого требует длина трубопровода и его сопротивление. Достоинства: лопасти вентиляторов изготовлены из негорючих материалов, возможность отключения вентилятора при превышении нормальной температуры, конструкция вентиляторов позволяет соединять последовательно два вентилятора для повышения давления в трубопроводе.

Параметры вентилятора ВМЭ-6 при номинальном режиме: производительность $Q = 7 \text{ м}^3/\text{с}$, полное давление $P = 2500 \text{ Па}$ [1].

На рисунке 2.1 приведена область аэродинамических характеристик вентилятора ВМЭ-6. Характеристики приведены для параметров воздуха при нормальных атмосферных условиях [1].

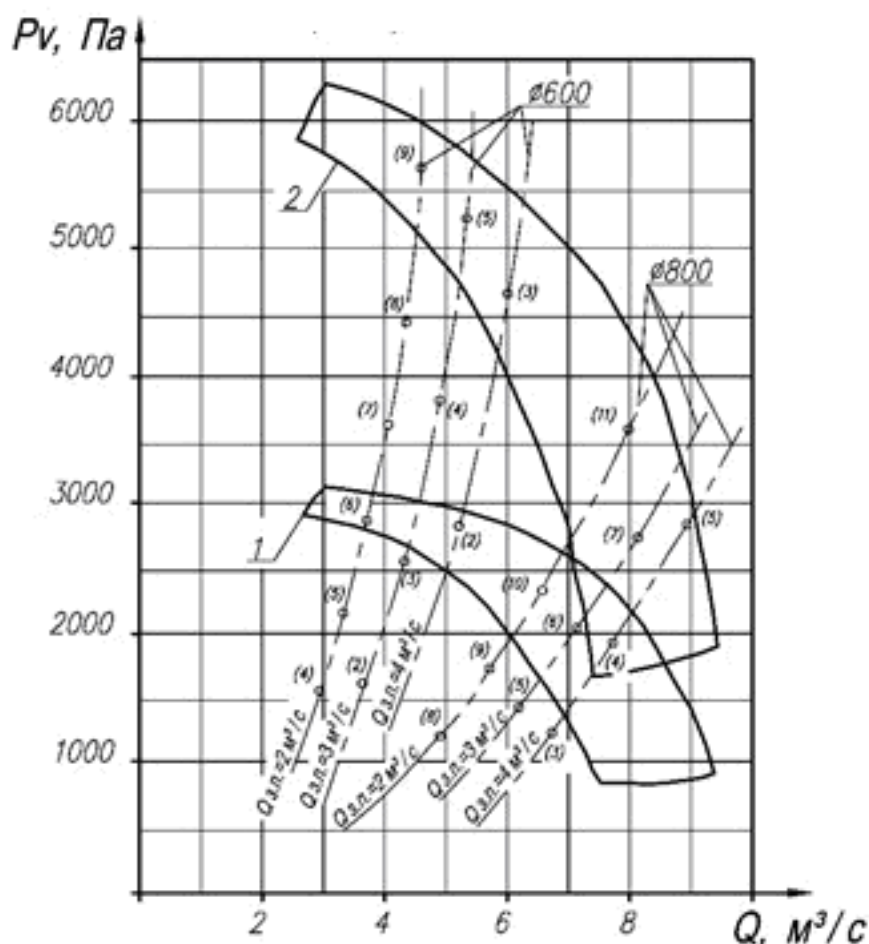


Рисунок 2.1 - Область аэродинамических характеристик вентилятора ВМЭ-6

На рисунке 2.1 обозначено:

- 1 - один вентилятор ВМЭ-6;
 - 2 - два вентилятора ВМЭ-6, соединенных последовательно;
 - 3 - трубопровод диаметром 600 мм;
 - 4 - трубопровод диаметром 800 мм .
- (2),(3) - (12) соответственно длина сети проветривания 200, 300...1200 м.

По характеристикам аэродинамики для выбранной точки работы i определяются производительность, давление, создаваемое им и КПД вентилятора. Полезная и полная мощность и полезный и полный момент на валу вентилятора и скорость вращения электродвигателя определяются путем расчетов по приведенным расчетным формулам ниже [4].

Мощность на валу полная

$$N_{валі} = N_{баз} \cdot \frac{Q_i}{Q_{баз}} \cdot \frac{p_i}{p_{баз}} \cdot \frac{\eta_{баз}}{\eta_i}, \text{ Вт.}$$

Момент нагрузки на валу полный

$$M_{валі} = \frac{N_{валі}}{\omega_i}, \text{ Н·м.}$$

Мощность на валу полезная

$$N_{полі} = N_{валі} \cdot \eta_i, \text{ Вт.}$$

Скорость вращения двигателя в выбранной точке работы

$$\omega_i = \omega_{баз} \cdot \frac{Q_i}{Q_{баз}}$$

Момент нагрузки на валу полезный

$$M_{полі} = \frac{N_{полі}}{\omega_i}, \text{ Н·м.}$$

Параметры вентилятора в рабочих точках

Параметры базовой точки т.0 (общая точка):

$$Q_{баз} = 7 \text{ м}^3/\text{с}, \quad p_{баз} = 2500 \text{ Па}, \quad \eta_1 = 68\%,$$

Мощность вентилятора определяется по выражению [2]

$$P_{баз} = \frac{Q \cdot p}{1000 \cdot \eta_{вент}} = \frac{7 \cdot 2500}{1000 \cdot 0,68} = 25 \text{ кВт},$$

где $Q = 0,025 \text{ м}^3/\text{с}$ – номинальная подача,

$p = 2500 \text{ Па}$ номинальное полное давление;

$\eta_{нас} = 0,68$ – КПД вентилятора.

$$N_{баз} = 25000 \text{ Вт.}$$

Параметры точки 1- точка номинального режима работы вентилятора.

$$Q_n = 7 \text{ м}^3/\text{с}, \quad p_n = 2600 \text{ Па}, \quad \eta_n = 68\%,$$

$$n_n = 2946 \text{ об/мин} \quad \text{или} \quad \omega_n = 308,35 \text{ рад/с.}$$

Расчетные параметры в т.1:

мощность на валу полная

$$N_{\text{вал1}} = 25000 \cdot \frac{24480}{25200} \cdot \frac{2650}{2500} \cdot \frac{0,68}{0,77} = 22700 \text{ Вт};$$

момент нагрузки на валу полный

$$M_{\text{вал1}} = \frac{22700}{308,35} = 73,6, \text{ Н}\cdot\text{м};$$

мощность на валу полезная

$$N_{\text{пол1}} = 22700 \cdot 0,68 = 15436 \text{ Вт};$$

момент нагрузки на валу полезный

$$M_{\text{пол1}} = \frac{15436}{308,35} = 50, \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Параметры точки 2.

$$Q_{\text{т.2}} = 28440 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad p_{\text{т.2}} = 2650 \text{ Па}, \quad \eta_{\text{н}} = 72\%,$$

Расчетные параметры в т.2:

мощность на валу полная

$$N_{\text{вал2}} = 25000 \cdot \frac{28440}{25200} \cdot \frac{2200}{2500} \cdot \frac{0,68}{0,72} = 23450, \text{ Вт};$$

момент нагрузки на валу полный

$$M_{\text{вал2}} = \frac{23450}{308,35} = 76,05, \text{ Н}\cdot\text{м};$$

мощность на валу полезная

$$N_{\text{пол2}} = 23450 \cdot 0,68 = 15940, \text{ Вт};$$

момент нагрузки на валу полезный

$$M_{\text{пол2}} = \frac{15940}{308,35} = 51,7, \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Параметры точки 3

$$Q_{\text{т.4}} = 25200 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad p_{\text{т.4}} = 2600 \text{ Па}, \quad \eta_{\text{т.4}} = 0,68\%,;$$

Расчетные параметры в т.3:

мощность на валу полная

$$N_{\text{вал3}} = 25000 \cdot \frac{25200}{25200} \cdot \frac{2600}{2500} \cdot \frac{0,68}{0,77} = 22958 \text{ , Вт};$$

момент нагрузки на валу полный

$$M_{\text{вал3}} = \frac{22958}{308,35} = 74,45, \text{ Н}\cdot\text{м};$$

мощность на валу полезная

$$N_{\text{пол3}} = 22958 \cdot 0,68 = 15611, \text{ Вт};$$

момент нагрузки на валу полезный.

$$M_{\text{пол3}} = \frac{15611}{308,35} = 50,63, \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Параметры точка 4

$$Q_{\text{т.3}} = 12240 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad p_{\text{т.3}} = 3100 \text{ Па}, \quad \eta_{\text{т.3}} = 0,58\%,$$

Расчетные параметры в т.4:

мощность на валу полная

$$N_{\text{вал3}} = 25000 \cdot \frac{12240}{25200} \cdot \frac{3100}{2500} \cdot \frac{0,68}{0,58} = 17617 \text{ , Вт};$$

момент нагрузки на валу полный

$$M_{\text{вал3}} = \frac{17617}{308,35} = 57,13, \text{ Н}\cdot\text{м};$$

мощность на валу полезная

$$N_{\text{пол3}} = 17617 \cdot 0,68 = 11979, \text{ Вт};$$

момент нагрузки на валу полезный

$$M_{\text{пол3}} = \frac{11979}{308,35} = 38,85, \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

2.2 Выбор приводного двигателя

Номинальная мощность приводного электродвигателя должна быть больше либо равна мощности вентилятора на валу во всех точках его технологических режимах работы. Вентилятор потребляет больше мощности в режиме регулирования при работе в т.1, где $N_{\text{вал1}} = 25 \text{ кВт}$.

Согласно [3] при синхронной скорости 3000 об/мин наиболее удовлетворяющим по мощности является электродвигатель 3ВРМ160М2, его номинальная мощность равна 25 кВт. Технические характеристики электродвигателя 3ВРМ160 приведены в таблице 2.1 [3].

Таблица 2.1 – Технические характеристики электродвигателя 3ВРМ160М2

Типо-размер		$U_{1н},$ В	$P_{дв.н},$ кВт	При номинальной нагрузке			$J_{дв},$ кг·м ²
				$s_n, \%$	$\cos \varphi_n$	$\eta_n, \%$	
3ВРМ160М2	3000	380	25	1,8	0,88	91	0,084

Продолжение табл. 2.1

$m_{п} = \frac{M_{пуск}}{M_n}$	$m_k = \frac{M_{макс}}{M_n}$	$m_m = \frac{M_{мин}}{M_n}$	$k_{идв} = \frac{I_{пуск}}{I_n}$	Степень защиты
2,4	2,8	1,9	7,0	IP54

Расчетные параметры электродвигателя

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ с}^{-1}.$$

Угловая скорость вращения и номинальная частота вращения двигателя

$$n_{дв.н} = (1 - s_n) \cdot n_0 = (1 - 0,018) \cdot 3000 = 2946 \text{ об/мин} \frac{\partial^2 \Omega}{\partial v^2};$$

$$\omega_{дв.н} = (1 - s_n) \cdot \omega_0 = (1 - 0,018) \cdot 314 = 308,48 \text{ рад/с}.$$

Номинальное напряжение фазы, номинальный ток: линейный фазный (действующие значения) Схема соединения обмоток статора-звезда

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

$$I_{1фн} = I_{лн} = I_{двн} = \frac{P_{двн}}{3 \cdot U_{1фн} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{25000}{3 \cdot 220 \cdot 0,88 \cdot 0,91} = 47,3 \text{ А}.$$

Номинальное значение момента двигателя

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{25 \cdot 1000}{308,48} = 81 \text{ Нм.}$$

Максимальный ток, потребляемый двигателем при прямом пуске

$$I_{1\text{макс}} = I_{1\text{лн}} \cdot K_{i\text{дв}} = 47,3 \cdot 7 = 332,1 \text{ А}$$

Момент критический двигателя на естественной характеристике

$$M_k = m_k \cdot M_{\text{дв.н}} = 2,8 \cdot 81 = 226,8 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Момент пусковой двигателя при прямом пуске

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 2,4 \cdot 81 = 194,4 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

2.3 Определение параметров схемы замещения двигателя

Наиболее удобной и простой для расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, представленная на рисунке 2.1 [6].

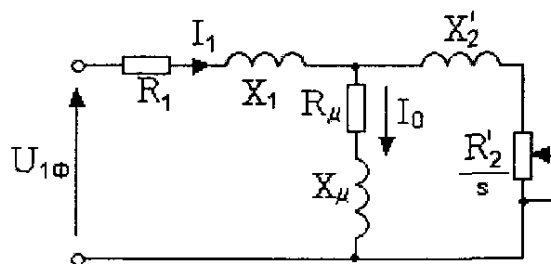


Рисунок 2.2 – Схема замещения асинхронного двигателя

Ток фазы статора при частичной нагрузке

$$I_{1p*} = \frac{p^* \cdot P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\phi\text{н}} \cdot \cos \varphi_{p*} \cdot \eta_{p*}} = \frac{0,75 \cdot 25000}{3 \cdot 220 \cdot 0,847 \cdot 0,91} = 36,86 \text{ А,}$$

где $\cos \varphi_{p*} = 0,91$ – коэффициент мощности при частичной нагрузке;

$\eta_{p*} = 0,847$ – КПД при частичной нагрузке ;

$p^* = 0,75$ – коэффициент загрузки двигателя.

Ток холостого хода асинхронного двигателя

$$I_0 = I_{11} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{I_{1\delta^*}}{I_{11}}\right)^2 \cdot \left[\frac{p^* \cdot (1-s_1)}{(1-p^* \cdot s_1)}\right]^2}{1 - \left[\frac{p^* \cdot (1-s_1)}{(1-p^* \cdot s_1)}\right]^2}} =$$

$$= 47,3 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{36,86}{47,3}\right)^2 \cdot \left[\frac{0,75 \cdot (1-0,018)}{(1-0,75 \cdot 0,018)}\right]^2}{1 - \left[\frac{0,75 \cdot (1-0,018)}{(1-0,75 \cdot 0,018)}\right]^2}} = 15,9 \text{ A.}$$

По формуле Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения

$$s_k = s_n \cdot \frac{m_k + \sqrt{(m_k)^2 - [1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} =$$

$$= 0,018 \cdot \frac{2,8 + \sqrt{2,8^2 - [1 - 2 \cdot 0,018 \cdot 1,07 \cdot (2,8 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,018 \cdot 1,5 \cdot (2,8 - 1)} = 0,108$$

где β – коэффициент, определяющий соотношение активных сопротивлений статора и ротора, принимаем $\beta = 1,5$.

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot (1-s_n)}{2 \cdot m_k \cdot P_{\text{дв.н}} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_k}\right)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1-0,018)}{2 \cdot 2,8 \cdot 25000 \cdot 1,029^2 \cdot \left(1,5 + \frac{1}{0,108}\right)} = 0,091 \text{ Ом}$$

,

$$\text{где } C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot K_{i\text{дв}} \cdot I_{1\text{двн}}} = 1 + \frac{15,9}{2 \cdot 7 \cdot 47,3} = 1,024 - \text{коэффициент, который}$$

характеризует соотношение $\frac{X_\mu + X_{1\delta}}{X_\mu}$;

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,024 \cdot 0,108 \cdot 1,5 = 0,139 \text{ Ом.}$$

Определим параметр γ , позволяющий найти индуктивное сопротивление короткого замыкания $X_{\text{кн}}$

$$\gamma = \sqrt{(1/s_{\text{с}}^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0.108^2) - 1.5^2} = 9.11,$$

В таком случае, индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$X_{\text{кн}} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 9.11 \cdot 1.024 \cdot 0.091 = 0.844 \text{ Ом.ос}$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора

$$X_{1\delta} = 0.42 \cdot X_{\text{кн}} = 0.42 \cdot 0.844 = 0.355 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки статора электродвигателя, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{1\delta} = \frac{X_{1\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{0.355}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 1.13 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Приведенное к обмотке статора сопротивление рассеяния индуктивное обмотки ротора в номинальном режиме

$$X_{2\delta}' = 0.58 \cdot \frac{X_{\text{кн}}}{C_1} = 0.58 \cdot \frac{0.844}{1.024} = 0.48 \text{ Ом.}$$

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

$$L_{2\delta}' = \frac{X_{2\delta}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{г}}} = \frac{0.48}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 1.52 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

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

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1\text{г}} \cdot \cos \varphi_{\text{г}} - R_1 \cdot I_{1\text{г}})^2 + (U_{1\text{г}} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{г}}} - X_{1\delta} \cdot I_{1\text{г}})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0.88 - 0.139 \cdot 47.3)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0.88^2} - 0.355 \cdot 47.3)^2} = 206.6 \text{ В,} \end{aligned}$$

тогда индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{206.6}{15.9} = 13 \text{ Ом.}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1f}} = \frac{13}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0.04 \tilde{A}.$$

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя [4].

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

$$M_{\text{эм.н}}(s_H) = M_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.091}{314 \cdot 0.018 \cdot \left[(0.844)^2 + \left(0.139 + \frac{0.091}{0.018} \right)^2 + \left(\frac{0.139 \cdot 0.091}{0.018 \cdot 13} \right)^2 \right]} = 84,75 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

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

$$= \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot \frac{0.04}{(0.04 + 1,52 \cdot 10^{-3})} \cdot 0.93 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{47,3^2 - 15,9^2} = 84,78 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$\text{где } \Psi_{2H} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_{\mu} = \sqrt{2} \cdot 15,9 \cdot 0.04 = 0.93 \text{ Вб}.$$

Должны выполняться условия:

$$M_{\text{эм.н}} \approx M_{\text{эм.н}}^*;$$

$$84,75 \approx 84,78;$$

$$M_{\text{дв.н}} \leq M_{\text{эм.н}} = 1.1 \cdot M_{\text{дв.н}};$$

$$81 \leq 84,75 = 1.1 \cdot 81 = 89,1.$$

По результатам расчета эти условия выполняются [4].

Параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	$X_{1\delta}$, Ом	$L_{1\delta}$, Гн	X_{μ} , Ом	L_{μ} , Гн	R_2' , Ом	$X_{2\delta}'$, Ом	$L_{2\delta}'$, $\tilde{A}$	X_{KH} , Ом
0.138	0.354	13	13	0,04	0.091	0.48	$1,52 \cdot 10^{-3}$	0,844

2.4 Расчет естественных характеристик электродвигателя

2.4.1 Расчет естественной характеристики: механической

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

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

Зададимся скольжением в пределах $s = 0.01, 0.02, \dots, 0.5$ и рассчитаем в среде программирования *Mathcad* естественную механическую характеристику $\omega(M)$ (рис. 2.2), где $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$.

Рассчитаем номинальный электромагнитный момент двигателя $M_{\text{эм.н}}$

$$\begin{aligned} M_{\text{эм.н}}(s_{\text{н}}) = M_{\text{эм.н}} &= \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[(X_{\text{кн}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.091}{314 \cdot 0.018 \cdot \left[(0.844)^2 + \left(0.139 + \frac{0.091}{0.018} \right)^2 + \left(\frac{0.139 \cdot 0.091}{0.018 \cdot 13} \right)^2 \right]} = 84.75 \text{ Нм}; \end{aligned}$$

критического скольжения

$$s_{\text{к}} = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2}{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} = 0.091 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{0.139}{13} \right)^2}{0.139^2 + 0.844^2}} = 0.106$$

и электромагнитного критического момента

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

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{314 \cdot 2 \cdot \left[0,129 + \sqrt{(0,129^2 + 0,844^2) \cdot \left(1 + \frac{0,129}{13}\right)^2} \right]} = 232,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

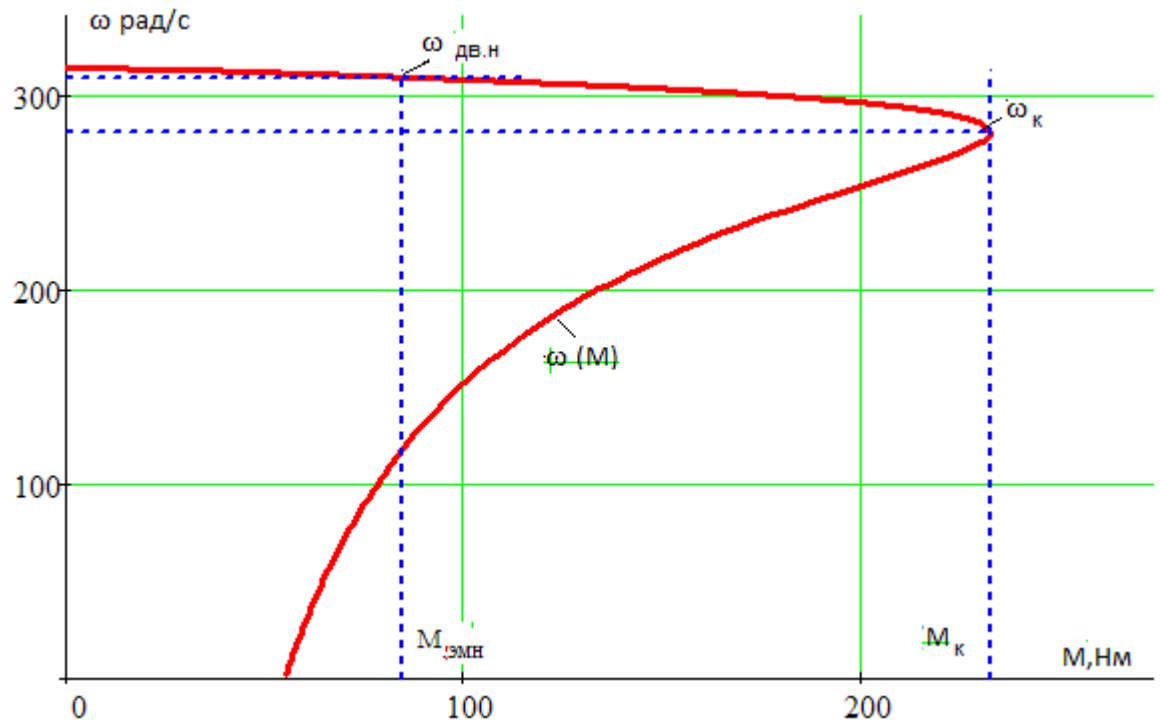


Рисунок 2.2 – механическая характеристика асинхронного электродвигателя: естественная

2.4.2 Расчет естественной характеристики: электромеханической

Естественная электромеханическая характеристика $I_1(s)$ приводного электродвигателя рассчитаем для значения частоты $f_{\text{и}} = f_{1\text{н}} = 50$ Гц по выражению [4].

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

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\hat{0}\hat{1}}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{\hat{e}\hat{1}})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu})^2}}; \quad (2.2)$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{\hat{e}\hat{1}}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{\hat{e}\hat{1}})^2}}. \quad (2.3)$$

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

$$I_0 = \frac{U_{1\phi_H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\delta} + X_\mu)^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,129^2 + (0,355 + 13)^2}} = 16,47 \text{ A},$$

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

$$= \sqrt{16,47^2 + 40,87^2 + 2 \cdot 16,47 \cdot 40,87 \cdot 0,148} = 46,4 \text{ A},$$

где

$$I_2'(s_H) = \frac{U_{1\phi_H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s_H})^2 + (X_{KH})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu})^2}} =$$

$$= \frac{220}{\pm \sqrt{(0,139 + \frac{0,091}{0,018})^2 + (0,844)^2 + (\frac{0,139 \cdot 0,091}{0,018 \cdot 13})^2}} = 40,87 \text{ A};$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s_H})^2 + (X_{KH})^2}} = \frac{1,4}{\sqrt{(0,139 + \frac{0,091}{0,018})^2 + (0,844)^2}} = 0,148;$$

По полученным результатам расчета построим электромеханические характеристики токов ротора $I_2' = f(\omega)$ и статора $I_1 = f(\omega)$, показанных на рисунке 2.3.

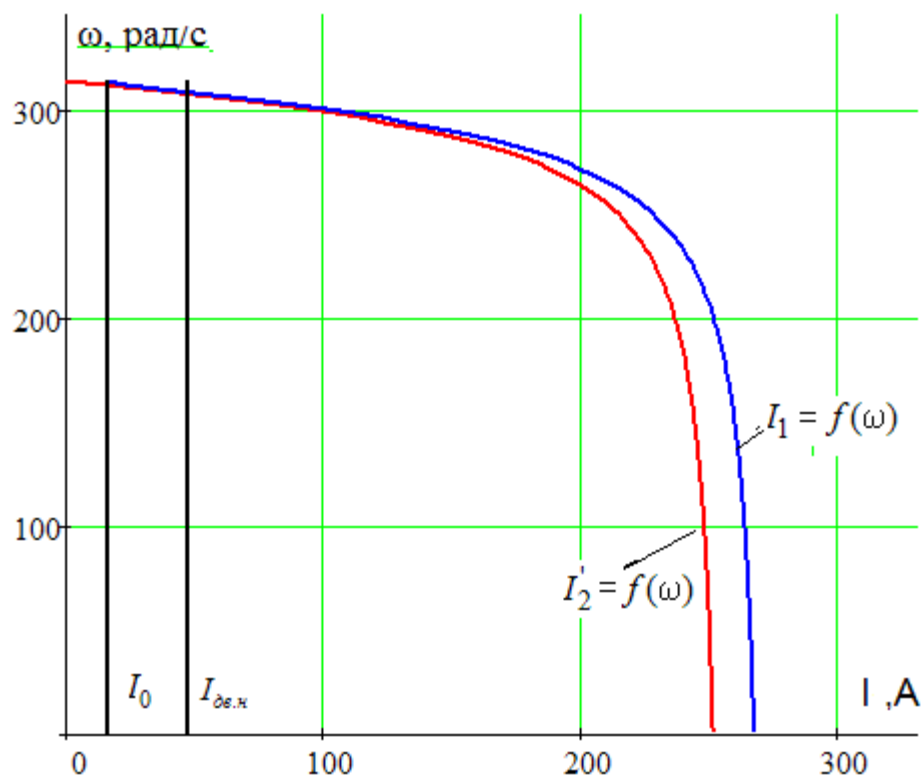


Рисунок 2.3 – Естественные электромеханические характеристики асинхронного электродвигателя

Сравнивая значения расчетных параметров рассчитанных выше характерных точек естественных характеристик двигателя с его справочными данными, которые мы привели в таблице 2.1 можно сделать вывод о правильности параметров схемы замещения электродвигателя.

2.5 Механическая характеристика вентилятора в режиме работы с максимальным давлением

Момент от силы трения на валу электродвигателя принимаем постоянным и равным

$$\Delta M_{с\text{ дв}} = M_{эм\text{ н}} - M_{дв\text{ н}} = 84,75 - 81 = 3,75 \text{ Нм.} \quad (2.4)$$

Так как напор, который развивает вентилятор, как показано в [7] пропорционален квадрату частоты вращения, то момент статический сопротивления на валу электродвигателя $M_c(\omega)$ меняется в зависимости от скорости вращения двигателя по выражению приведенному ниже

$$M_c(\omega) = \Delta M_{с\text{ дв}} + (M_{с.\text{макс}} - \Delta M_{с\text{ дв}}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{дв.н}}} \right)^2 =$$

$$= 3,75 + (84,75 - 3,75) \cdot \left(\frac{\omega}{308,48} \right)^2, \quad (2.5)$$

где $M_{с.\text{макс}} = M_{эмн} = 84,75$ Нм - момент нагрузки при скорости вращения $\omega_{\text{дв.н}} = 308,48$ рад/с, который равен номинальному моменту двигателя электромагнитному.

Механические характеристики полного момента сопротивления на валу двигателя, которые соответствуют механическим характеристикам нашего вентилятора, показаны на рис. 2.4.

Принимаем момент инерции вентилятора

$$J_{\text{вен}} = 2J_{\text{дв}} = 3 \cdot 0,084 = 0,168 \text{ кг м}^2,$$

тогда момент инерции электропривода будет равен:

$$J_{\text{э}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{вен}} = 0,084 + 0,168 = 0,252 \text{ кг м}^2.$$

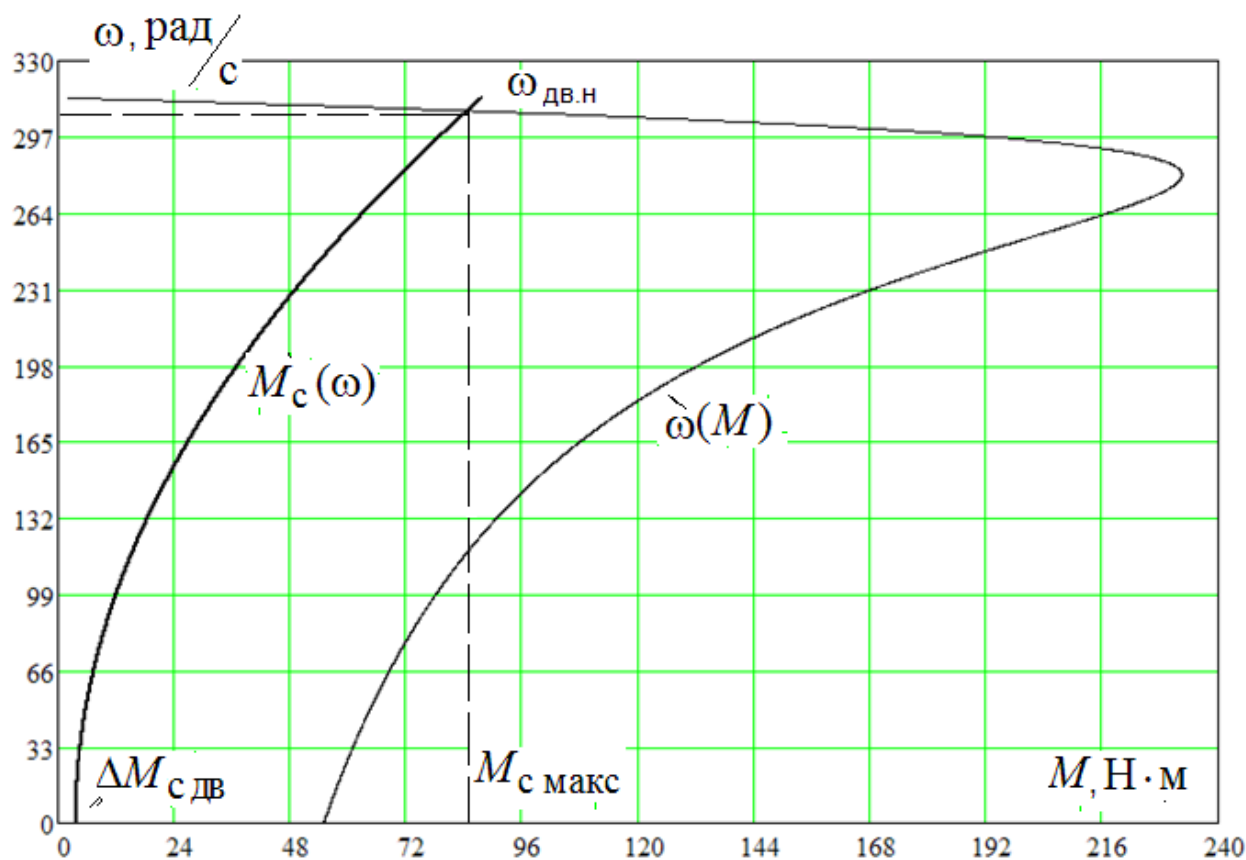


Рисунок 2.4 - Характеристика полного момента сопротивления на валу двигателя $M_c(\omega)$ и естественная механическая характеристика двигателя $\omega(M)$

Из анализа характеристик, которые приведены на рисунке 2.4 ,следует, что двигатель 3ВРМ160М2 обеспечивает полностью требуемое значение максимальной скорости вентилятора ВМЭ -6 $\omega_{дв.н} = 308,48$ рад/с , длительную работу при моменте максимальном и более чем двукратную перегрузку по моменту.

3 Обзор систем управления и способов регулирования электропривода

3.1 Системы управления электроприводом

На данный момент очень много ведущих электротехнических фирм мира выпускают регулируемые автоматизированные электроприводы (АЭП), которые комплектуются совместно с микропроцессорными САУ в виде гибко программируемых систем, которые предназначены для разнопланового использования. Выбор принципа и способа управления производится на основании требований к показателям качества и регулированию скорости регулирования: диапазон регулирования, плавность, точность поддержания заданной скорости. Частотное управление электродвигателями осуществляется двумя способами [7].

В приводных устройствах режима работы S1 с постоянной скоростью, и диапазоном регулирования скорости вращения не более 1:10 и без особых требований к динамике наиболее правильным будет применение простых структур и законов частотного управления [9]. Поэтому вернее всего применить скалярный принцип частотного управления при проектировании СУЭП [7].

3.2 Выбор закона частотного регулирования

Для механизмов с «вентиляторной» нагрузкой целесообразно выбрать закон $U_1/f_1^2 = \text{const}$ [9].

Этот закон является сложен в реализации, но позволяет снизить потребляемую вентилятором энергию из сети. Чтобы повысить пусковой момент на малых скоростях до требуемых значений необходимо предусмотреть возможность настройки вольт-частотной характеристики.

3.3 Выбор преобразователя частоты

Преобразователь частоты выбирается из условий:

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

В связи с рекомендациями [4] для регулируемого асинхронного электропривода вентилятора правильной будет выбрать преобразователь компания Веспер серии EI-P7012. Это модель нового поколения

преобразователей частоты используется для управления приводами с переменной нагрузкой вентиляторного типа. Данную модель отличают расширенные функциональные возможности, малые массогабаритные характеристики, увеличенный диапазон мощностей.

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

$$I_{ин} \geq I_{лн} = 47,3 \text{ А}$$

Параметры преобразователя частоты компании ВЕСПЕР серии EI-P7012 приведены в таблице 3.1.[5]

Таблица 3.1 – Технические параметры преобразователя частоты серии EI-P7012

Модель	Число фаз	Напряжение питания, В	Рекомендуемая мощность двигателя, кВт	Номинальный ток, А	Максимальный ток, А	Степень защиты
EI-P7012	3	380-500	30	60	96	IP20

Общие технические данные преобразователя частоты серии компании ВЕСПЕР серии EI-P7012 представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Характеристики преобразователя частоты серии EI-P7012

Напряжение питающей сети	3 фазы, 380-500 В ($\pm 10\%$)
Частота сети, Гц	50
Коэффициент мощности (не менее)	0.98
Максимальная выходная частота, Гц	400
Перегрузка по току (в % от номинального тока в течение 1 мин.)	160%
Способ управления	Квадратичное U/f^2 Режим оптимизации энергопотребления
Диапазон регулирования в разомкнутой системе	1:10
Вид регулятора для управления процессом	ПИД

замкнутой обратной связью	
Виды защит	Низкое напряжение, Перенапряжение, Перегрузка по току, Перегрузка по мощности, Короткое замыкание, Перегрев двигателя, Перегрев преобразователя
Дискретные входы (параметрируемые)	6
Фиксированные частоты вращения	8
Релейные выходы	2, параметрируемые 230 В AC / 1.0 А
Аналоговые входы	2 (0 В до 10 В, 2 В до 10 В, -10 В до +10 В, 0/4 до 20 мА)
Аналоговые выходы (параметрируемые)	2 (0/4 до 20 мА)
Последовательный интерфейс	RS485
Уровень защиты	IP20
Параметры окружающей среды	
температура окружающей среды	От 0°C до +40°C
температура хранения	От -30°C до +70°C
высота над уровнем моря	1000 м
допустимая относительная влажность (без образования конденсата)	95

Внешний вид преобразователя частоты компании ВЕСПЕР серии EI-P7012 показан на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Преобразователи частоты компании ВЕСПЕР серии EI-P7012

Схема подключения преобразователя частоты приведена на рис.3.2.

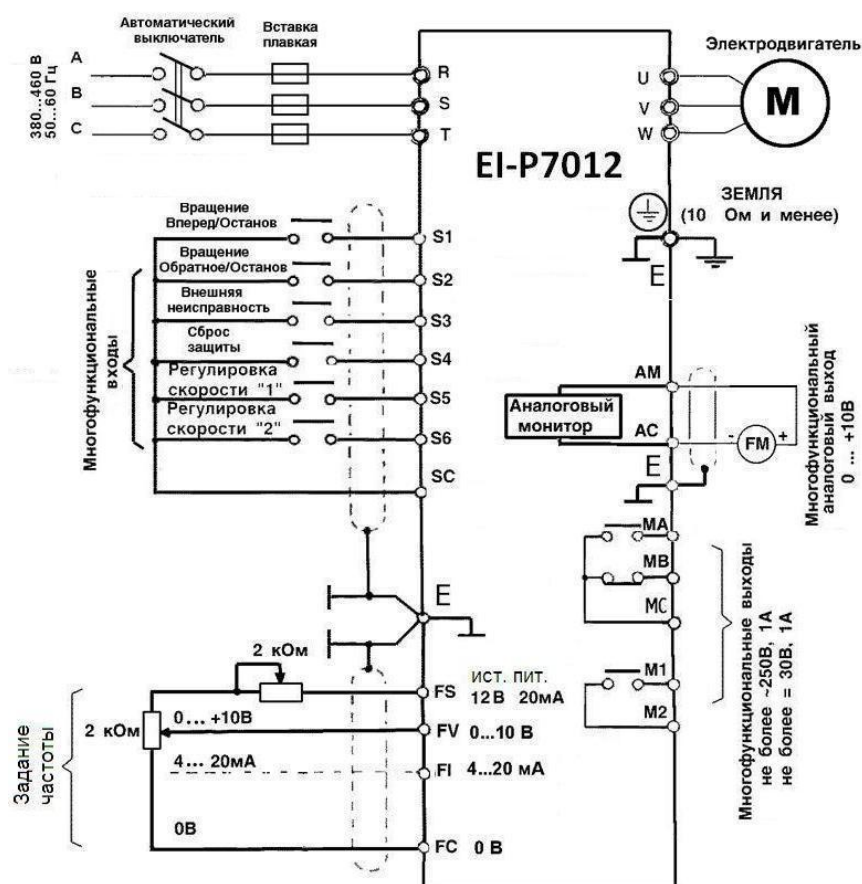


Рисунок 3.2 - Схема подключения преобразователя частоты

П.Ч. питается от сети трехфазного напряжения с линейным напряжением 380 В. Ее фазы подключаются к клеммам R, S, T, клемма РЕ заземляется. Снять заднюю панель и замкнуть клеммы 12 и 27. Асинхронный двигатель подсоединяется к клеммам U, V, W , а клемма РЕ заземляется.

4 Расчет статических характеристик системы преобразователь – двигатель при частотном регулировании

Характеристика преобразователя вольт-частотная при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$, рассчитывается по выражению [6]

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

приведена на рис. 4.1 (характеристика 1).

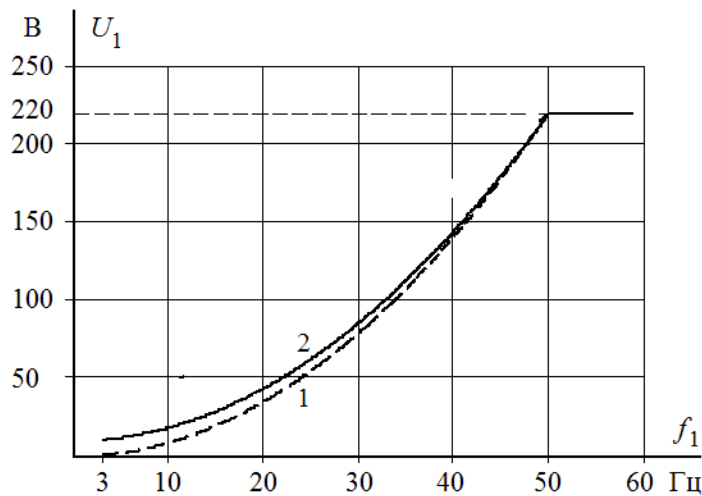


Рисунок 4.1 - Вольт-частотная характеристика преобразователя: 1 - закон регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$; 2 – закон регулирования $U_1/f_1 = \text{const}$

Максимальная частота инвертора, которая соответствует номинальному режиму работы вентилятора определим из условия поддержания номинальной скорости двигателя (рабочей) $\omega_{\text{дв.н}} = 308,48$ рад/с. Максимальное значение частоты инвертора примем $f_{\text{и макс}} = f_{1\text{н}} = 50$ Гц. Чтобы обеспечить пусковую характеристику двигателя исходя из требуемого диапазона регулирования скорости 1:10, примем минимальную частоту инвертора $f_{\text{и мин}} = 5$ Гц.

4.1 Система преобразователь – двигатель. Закон регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$. Механические характеристики

Механические характеристики двигателя $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель для закона регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ для ряда значений выходной частоты инвертора: $f_{1н1}=50$ Гц; $f_{1н2}=30$ Гц ; $f_{1н3}=15$ Гц; $f_{1н4}=5$ Гц рассчитываем с помощью программы *Mathcad* по выражениям [9]:

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

$$= \frac{3 \cdot U_1^2(f_1) \cdot 0,091}{314 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot s \cdot \left[\left(0,844 \cdot \frac{f_1}{50} \right)^2 + \left(0,139 + \frac{0,091}{s} \right)^2 + \left(\frac{0,139 \cdot 0,091}{s \cdot 13 \cdot \frac{f_1}{50}} \right)^2 \right]} \quad , (4.2)$$

где

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

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

По полученным результатам расчета приведенного выше на рис. 4.2 построим механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при изменении частоты.

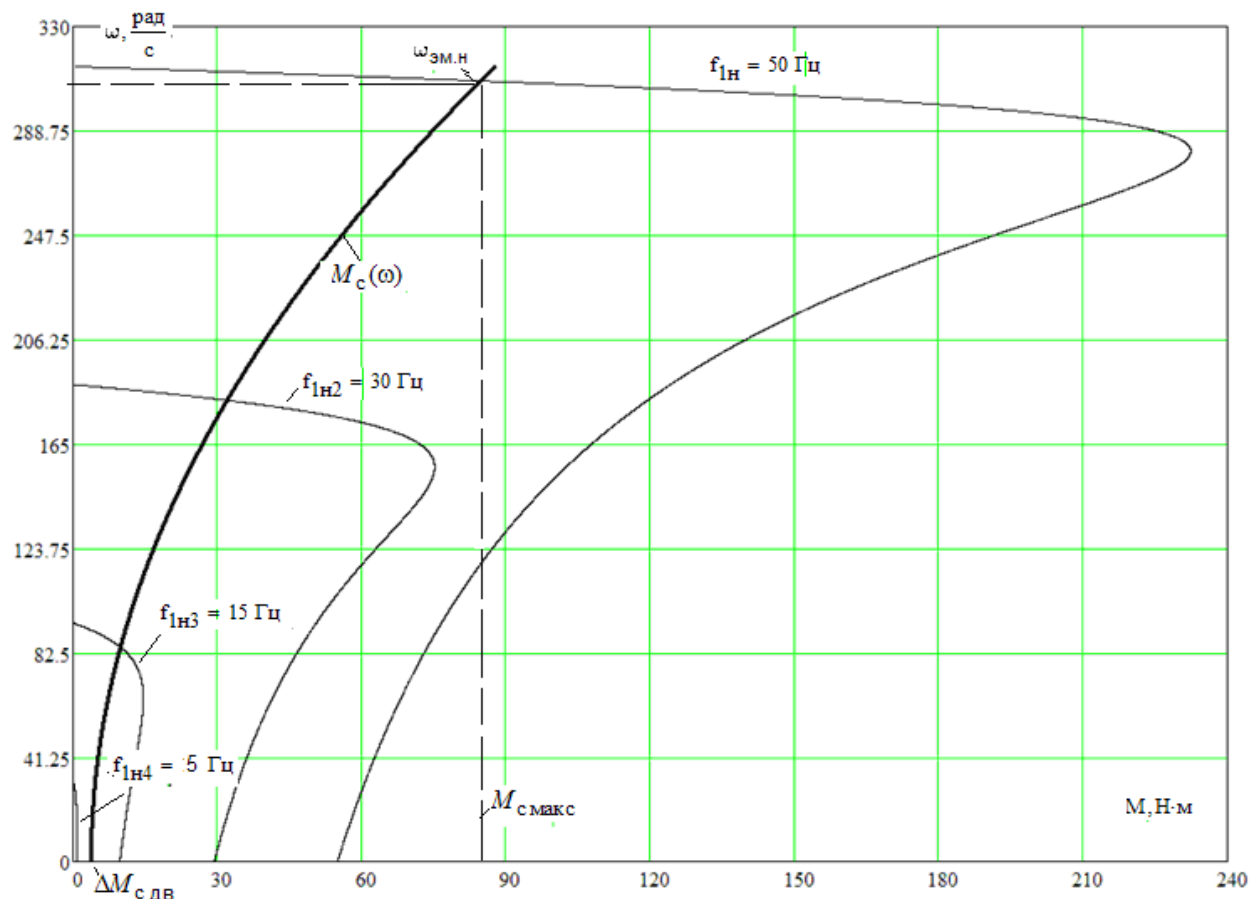


Рис. 4.2- Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$:
 $\Delta M_{с.дв} = 3,75 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $M_{с.макс} = 84,75 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Анализируя приведенные выше на рис. 4.2 механические характеристики привода и нагрузки, убедимся, что при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ не получается обеспечить пуск нашего электропривода при начальной частоте инвертора $f_{и.мин} = 5 \text{ Гц}$.

Для обеспечения двукратного момента пускового экспериментально подберем параметры начального участка вольт-частотной характеристики частотного преобразователя. Окончательно выбранные для начального участка характеристики следующие параметры (рис. 4.1): $U_{1мин} = 7 \text{ В}$, $f_{и.мин} = 5 \text{ Гц}$.

В таком случае вольт-частотная характеристика определена зависимостью

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

И представлена на рис. 4.1 (характеристика 2).

Механические характеристики системы преобразователь частоты – электродвигатель, которые мы посчитали по выражениям (4.2) с учетом настройки вольт-частотной характеристики (4.3), показаны на рис. 4.3.

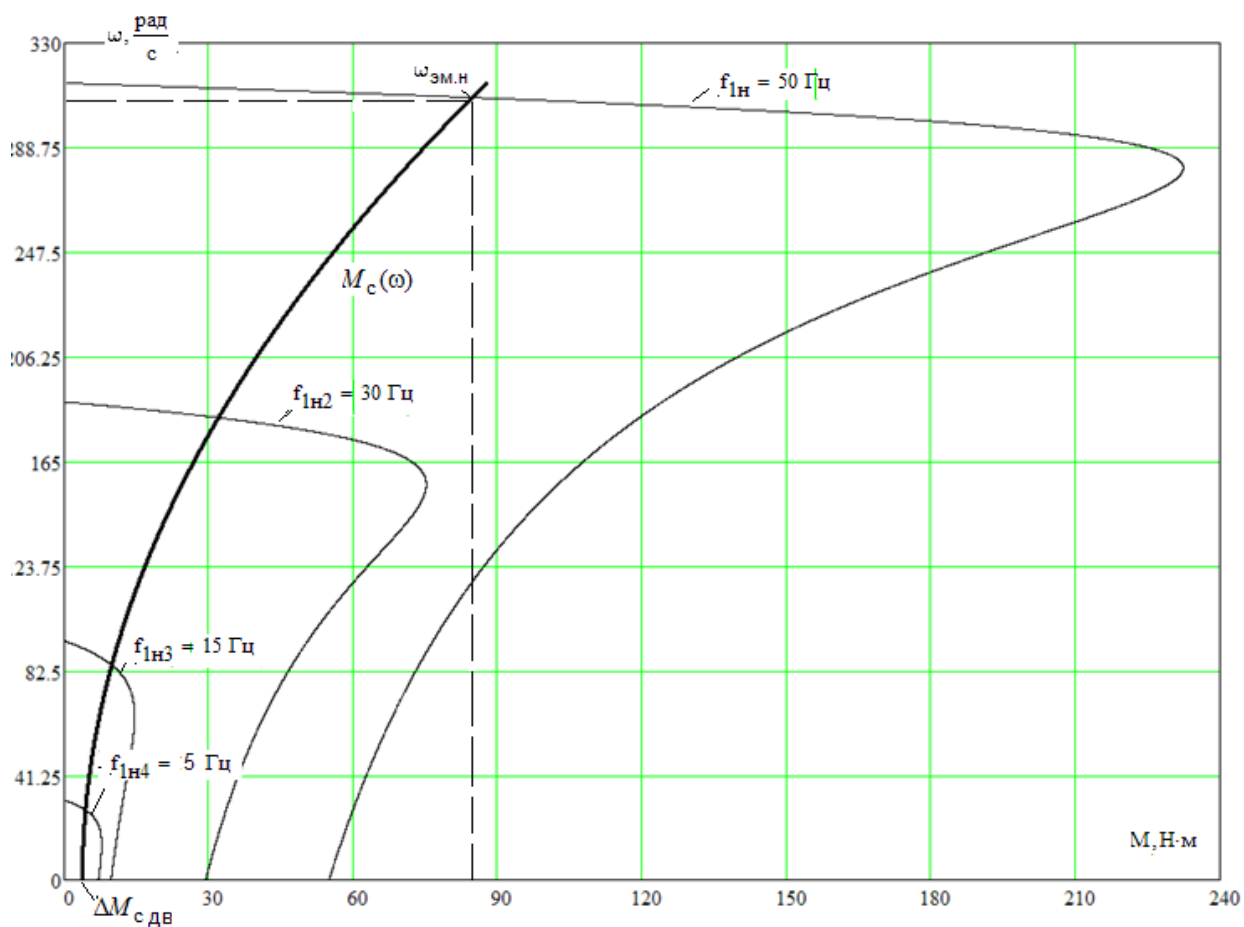


Рисунок 4.3 - Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3)

4.2 Система преобразователь – двигатель. Закон регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$. Электромеханические характеристики

Рассчитываем электромеханические характеристики $\omega(I_1)$ системы преобразователь – электродвигатель разомкнутой после того, как настроили вольт-частотную характеристику преобразователя в соответствии с (4.3) для ранее получившихся значений частоты по выражениям [9]:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2'^2(s, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2'(s, f_1) \cdot \sin \varphi_2(s, f_1)}; \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} I_0(f_1) &= \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} = \\ &= \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{0,139^2 + (0,355 + 13)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2}}; \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} I_2'(s, f_1) &= \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}} = \\ &= \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(0,139 + \frac{0,091}{s}\right)^2 + \left(0,844 \cdot \frac{f_1}{50}\right)^2 + \left(\frac{0,139 \cdot 0,091}{s \cdot 13 \cdot \frac{f_1}{50}}\right)^2}}; \end{aligned} \quad (4.6)$$

$$\begin{aligned} \sin \varphi_2(s, f_1) &= \frac{X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} = \end{aligned}$$

$$= \frac{0,844 \cdot \frac{f_1}{50}}{\sqrt{\left(0,139 + \frac{0,091}{s}\right)^2 + (0,844 \cdot 50)^2}}, \quad (4.7)$$

где

$$U_1(f_1) = U_{1\min} + (U_{1\phi_H} - U_{1\min}) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 = 7 + (220 - 7) \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2,$$

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

По полученным результатам расчетов на рис. 4.4 построены электромеханические характеристики $\omega(I_1)$ системы преобразователь частоты - электродвигатель.

На рис. 4.3 показана характеристика момента нагрузки (полного) $M_c(\omega)$. На рис. 4.4 соответствующая ей зависимость статического тока нагрузки $I_{1c}(\omega)$, которую посчитали по выражениям (4.4) – (4.7) в промежутке частот $f_1 = f_{1H1} \div f_{1H4}$ для скольжения s , которые нашли путем совместного решения уравнений для механических характеристик двигателя и нагрузки

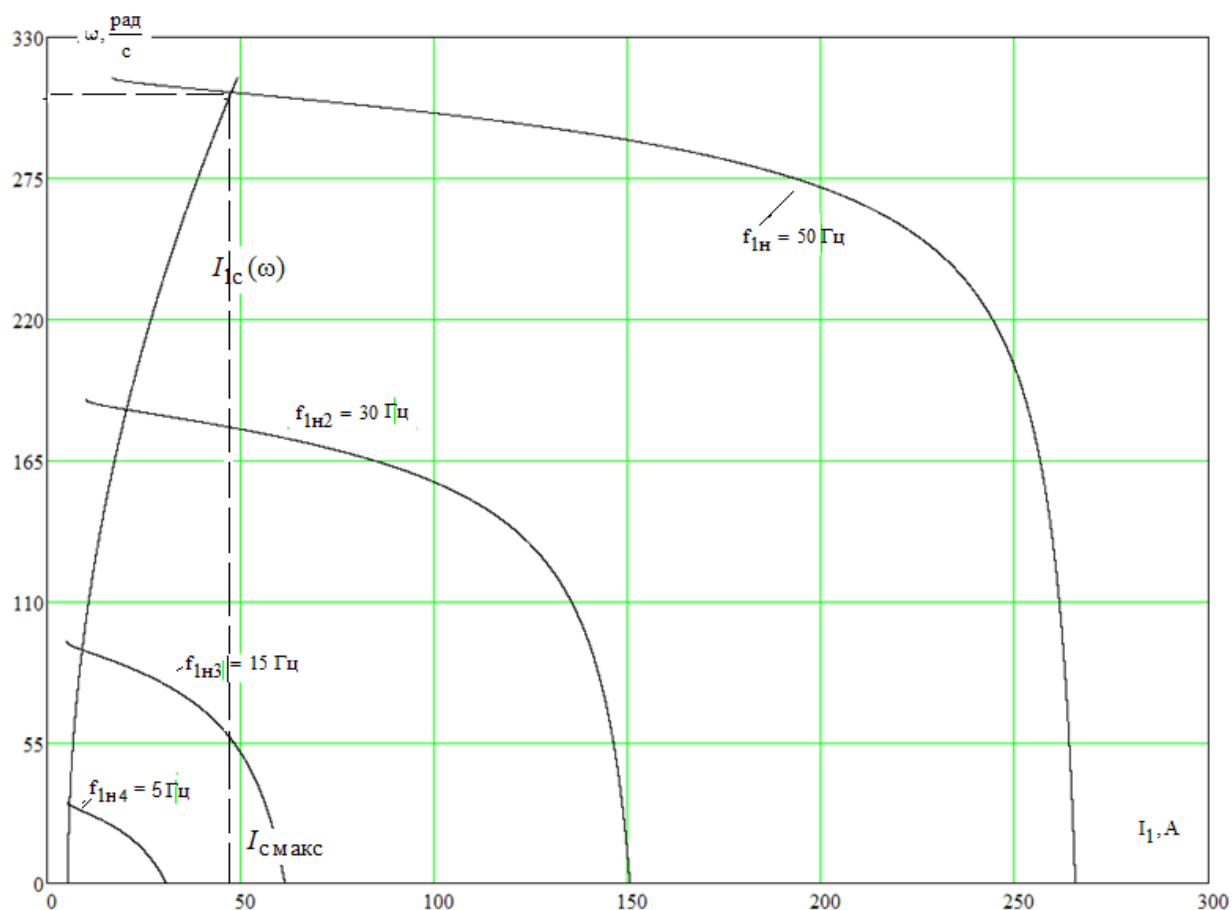


Рисунок 4.4 - Электромеханические характеристики привода $\omega(I_1)$ при скалярном управлении при настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3)

Анализ показанных на рис. 4.3 и 4.4 характеристик электропривода и нагрузки говорит о том, как при регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и настройке вольт-частотной характеристики согласно (4.3), обеспечивается пуск вентилятора с начальной частоты инвертора $f_{и. мин} = 5$ Гц.

5 Асинхронный электропривод со скалярным управлением. Частотно-регулируемый

В канал электропривода входят:

- преобразователь частоты, который преобразует частоту;
- приводной электродвигатель;
- механическая система, выполняющая функцию механического преобразователя.

Для решения задач анализа регулируемых асинхронных электроприводов используют модели электродвигателя, составленные на базе общей электрической машины и приведенные в неподвижной двухфазной системе координат[4]. На рисунке 5.1 показана структурная схема силового канала непрерывной линеаризованной системы преобразователь-асинхронный двигатель в неподвижной системе координат. Структурная схема (рисунок 5.1) характеризуется следующими промежуточными координатами:

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

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

Математическое описание силового канала системы преобразователь-электродвигатель, в неподвижной системе координат α, β , ориентированной по вектору потокосцепления ротора.

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1\alpha} = R_3 \cdot (T_3 p + 1) \cdot I_{1\alpha} - \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2\alpha} - \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\beta}; \\ U_{1\beta} = R_3 \cdot (T_3 p + 1) \cdot I_{1\beta} - \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2\beta} - \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\alpha}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \Psi_{2\alpha} - L_m \cdot I_{1\alpha} + \frac{L_2'}{R_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\beta}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \Psi_{2\beta} - L_m \cdot I_{1\beta} + \frac{L_2'}{R_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\alpha}; \\ M_{\text{дв.эм}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot (\Psi_{2\alpha} \cdot I_{1\beta} - \Psi_{2\beta} \cdot I_{1\alpha}); \\ \omega = \frac{1}{J_p} \cdot (M_{\text{дв.эм}} - M_c \cdot \text{sign}(\omega)) \end{array} \right.$$

На основании данной системы уравнений была составлена структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат α, β и реактивной нагрузкой приведена на рис. 5.1.

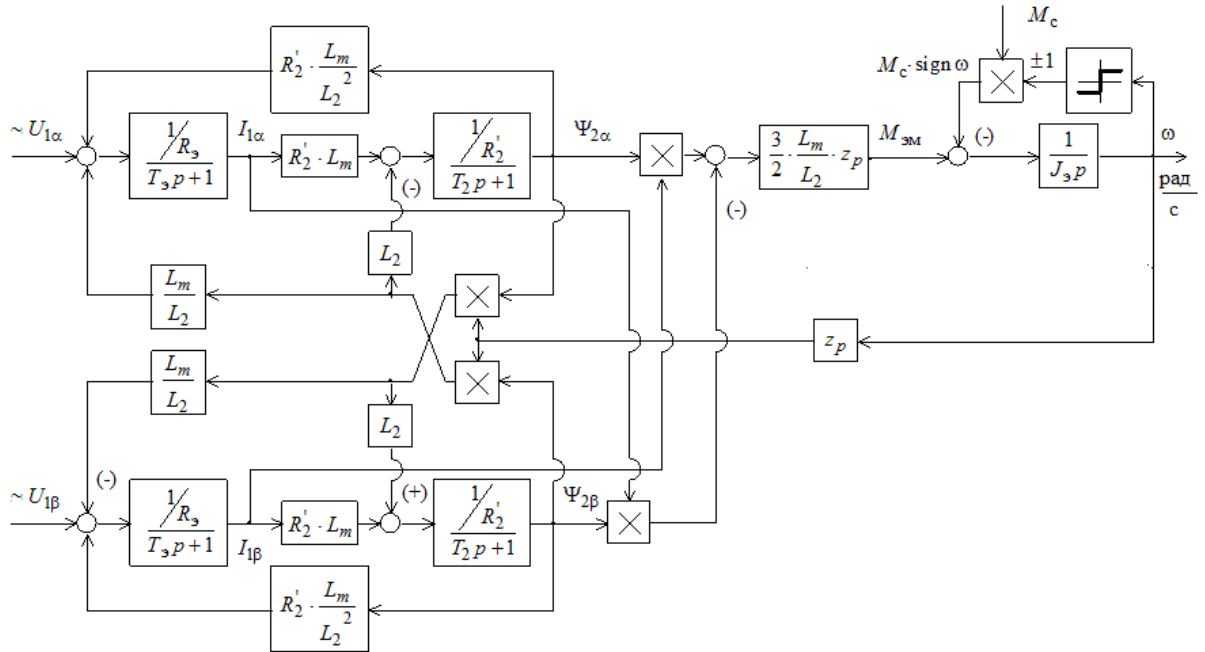


Рисунок 5.1 - Схема силового канала(структурная) системы ПЧ-АД в неподвижной двухфазной системе координат α, β

Входные величины на структурной схеме рис. 5.1 являются напряжения переменного тока – фазные напряжения статорных обмоток двухфазного АД:

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

Параметры звеньев структурной схемы двигателя.

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора

$$L_1 = L_{1\delta} + L_{\mu} = 1,13 \cdot 10^{-3} + 0,04 = 0,04113 \text{ Гн};$$

– ротора

$$L_2 = L'_{2\delta} + L_{\mu} = 1,52 \cdot 10^{-3} + 0,04 = 0,04152 \text{ Гн}.$$

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,04^2}{0,04113 \cdot 0,04152} = 0,063.$$

Эквивалентное сопротивление

$$R_y = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_{\mu}^2}{L_2^2} = 0,139 + 0,091 \cdot \frac{0,04^2}{0,04152^2} = 0,225 \text{ Ом}.$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_y = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_y} = \frac{0,063 \cdot 0,04113}{0,225} = 0,0116 \text{ с}; \quad T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{0,04152}{0,091} = 0,456 \text{ с}.$$

Момент инерции двигателя $J_{\text{дв}} = 0,084 \text{ кг м}^2$.

В программной среде Matlab Simulink на основе структурной схемы рисунка 5.1 разработана имитационная модель силового канала системы ПЧ-АД в неподвижной системе координат и приведена на рисунке 5.2 [9].

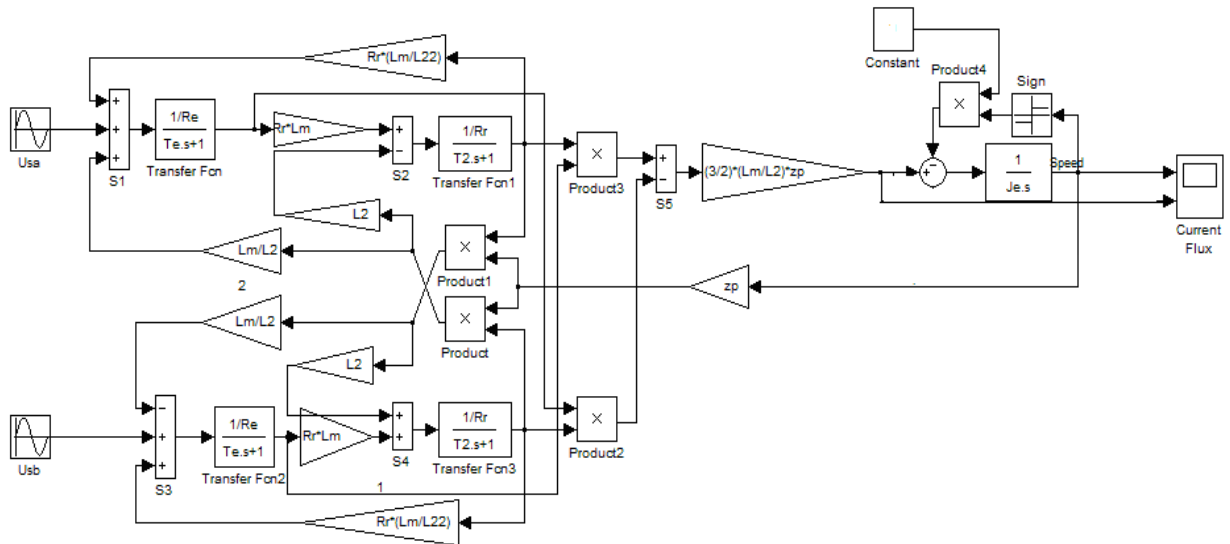


Рисунок 5.2 – Имитационная модель силового канала системы ПЧ-АД

Переходные процессы скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске и набросе нагрузки $M_{с.макс}=81\text{Нм}$. Величина скольжения

$$s = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{â.â.â}}}{\omega_0} = \frac{314 - 308,48}{314} \cdot 100 = 1,8\%$$

соответствует номинальному значению (таблица 2.1) что говорит об адекватности модели АД и правильности его расчетных параметров .

Прямой пуск электродвигателя в системе преобразователь частоты-асинхронный двигатель с любым законом регулирования U_1/f_1 характеризуется значительными колебаниями электромагнитного момента двигателя и большими значениями пускового момента и тока статора. Такие перегрузки по току и моменту с одной стороны могут быть недопустимы для отдельных элементов привода (например, по току для преобразователя), а с другой стороны в любом случае неблагоприятно скажутся на электродвигателе, преобразователе и механизме вентилятора и приведут к сокращению срока их службы. Полученные результаты показывают, что прямой пуск приводного двигателя не позволит получить удовлетворительного качества переходные процессы и определяют необходимость организации плавного пуска вентилятора с ограничением величины и улучшением характера временной зависимости динамического момента электропривода.

Ограничение момента двигателя в пусковых режимах в разомкнутых системах регулируемого электропривода может быть достигнуто применением задатчика интенсивности скорости во входной цепи управления электропривода. Простейшим задатчиком скорости является линейный задатчик. При этом электромагнитный момент электродвигателя и его максимальное значение зависят от значения статического момента нагрузки.

Применение задатчика интенсивности скорости простейшим образом решает проблему ограничения динамических нагрузок в электроприводах, в которых недопустимы механические перегрузки в рабочих режимах. К такому классу электрифицированных агрегатов относятся вентиляторы.

5.1 Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода приведена на рисунке 5.3. АД выполнен в виде двухфазной модели в неподвижной системе координат α, β [9].

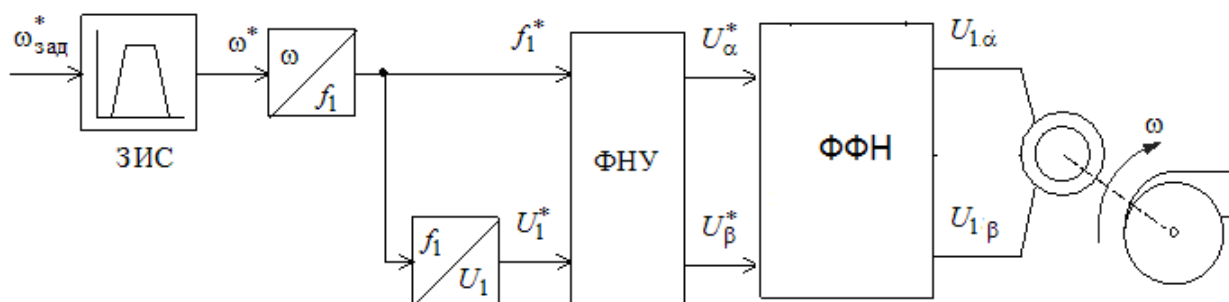


Рисунок 5.3 - Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

В разомкнутой системе электропривода со скалярным управлением, если уменьшается частота, то уменьшается и максимальный момент двигателя.

Для ограничения тока и момента электродвигателя в пуско-тормозных режимах электропривода механизмов, по технологии, у которых, невозможны механические перегрузки (таких электропривод вентиляторов), необходимо

применение датчика интенсивности с линейной характеристикой, устанавливающегося на входе электропривода в канале задания скорости.

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

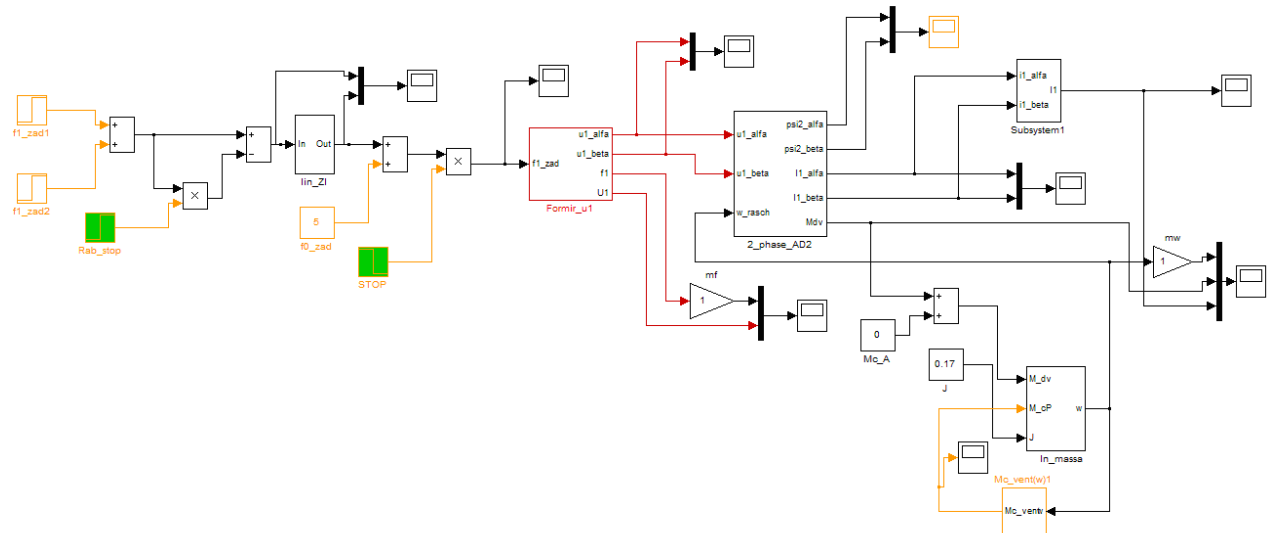


Рисунок 5.4 – Разомкнутая модель системы преобразователь-двигатель со скалярным управлением

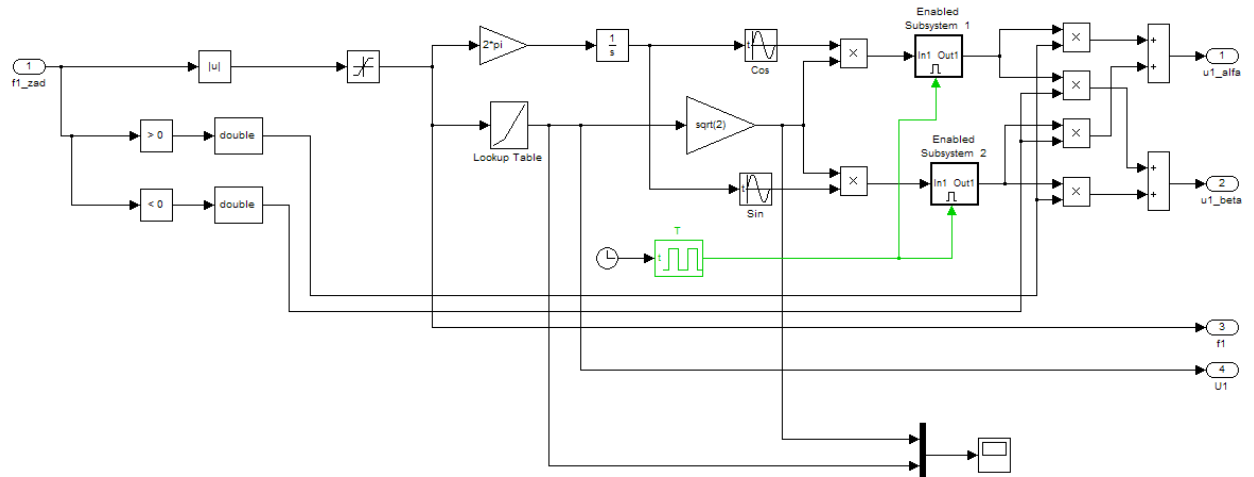


Рисунок 5.5 - Имитационная модель формирователя фазных напряжений статорных обмоток двухфазного двигателя в неподвижной системе координат α, β

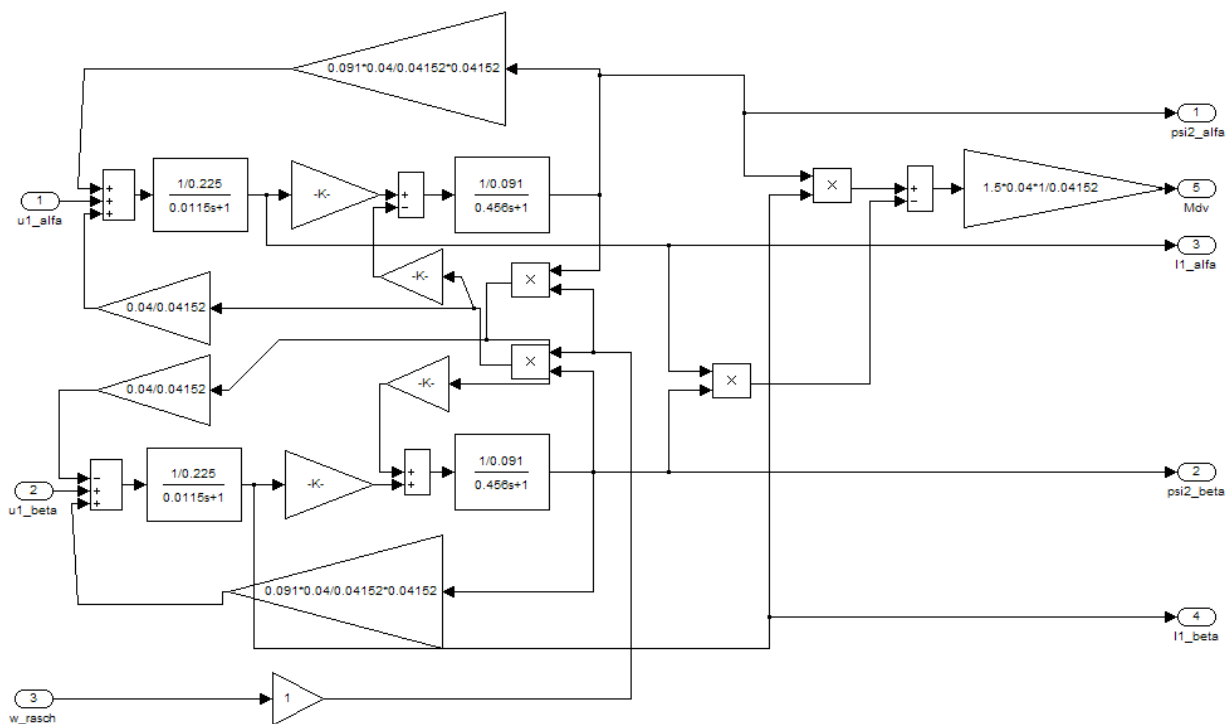


Рисунок 5.6 - Имитационная модель АД в неподвижной системе координат α, β

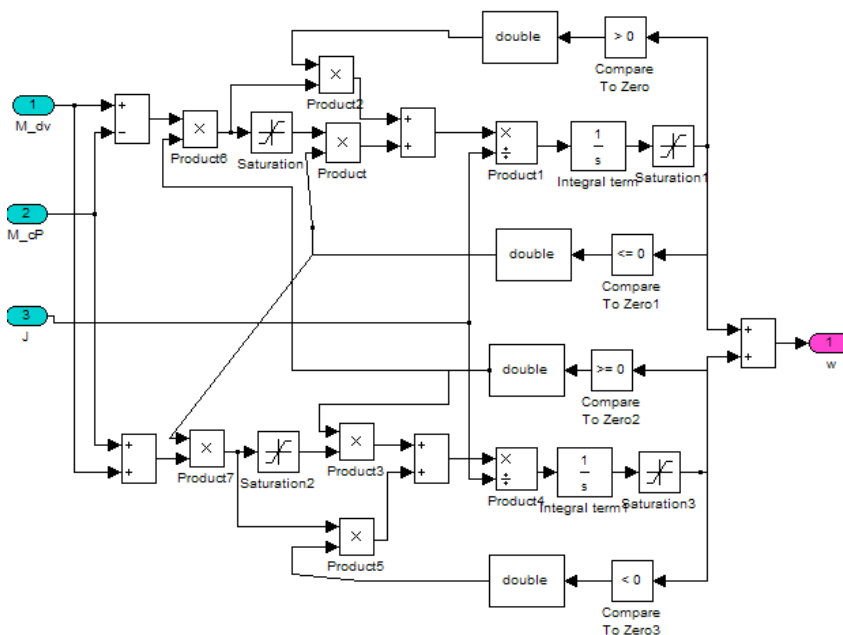


Рисунок 5.7 – Имитационная модель одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера

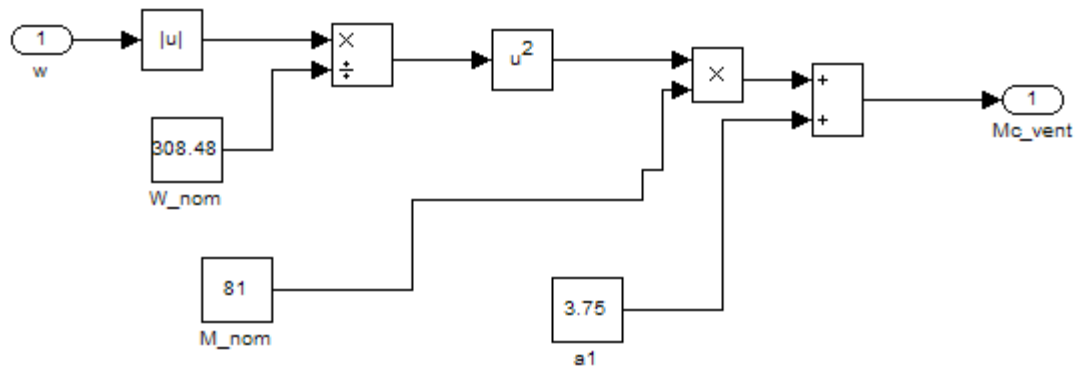


Рисунок 5.8 – Имитационная модель вентиляторной нагрузки

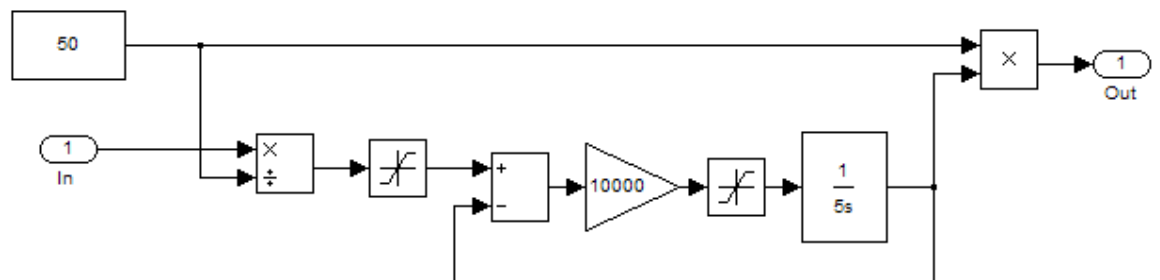


Рисунок 5.9 – Имитационная модель датчика интенсивности с линейной выходной характеристикой

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

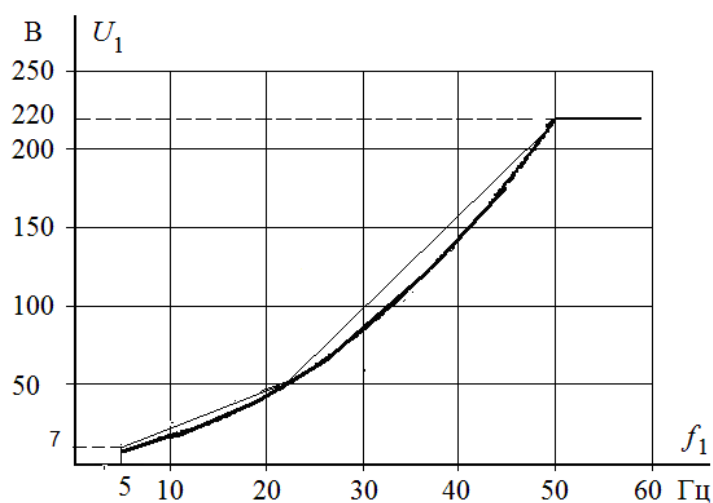


Рисунок 5.10 - Кривая зависимости $U_1(f_1)$

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

Таблица 5.1 - Параметры вольт-частотной характеристики преобразователя

f_1 , Гц	5	22	50
U_1 , В	7	50	220

Имитация квантования по времени фазных напряжений на выходе автономного инвертора напряжения преобразователя частоты (рис. 5.6), производится при помощи стандартных блоков библиотеки *Simulink* : *Pulse Generator* и *Enabled Subsystem* [9].

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

$$T_{\text{кв}} = \frac{1}{f_{i\div}} = \frac{1}{10000} = 0,0001 \text{ с},$$

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

5.2 Исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода вентилятора со скалярным управлением

В процессе имитационных исследований рассмотрим следующие режимы работы системы электропривод – вентилятор [9]:

- пуск электропривода;
- выход на минимальную рабочую скорость;
- набор скорости электропривода с минимальной на максимальную скорость;
- торможение электропривода с максимальной скорости до минимальной;
- остановка электропривода.

В качестве примера рассмотрена обработка электроприводом вентилятора следующего цикла при трех значениях постоянных времени ЗИ-
 $T_{\text{сб}} = 2\text{с}, 3\text{с}$ и 5с :

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

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

III – движение на максимальной рабочей скорости;

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

V - движение на минимальной рабочей скорости;

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

На рисунках 5.11-5.13 приведены временные характеристики обработки электроприводом вентилятора с законом регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и настройкой вольт-частотной характеристики в соответствии с (таб.5.1) принятого цикла работы.

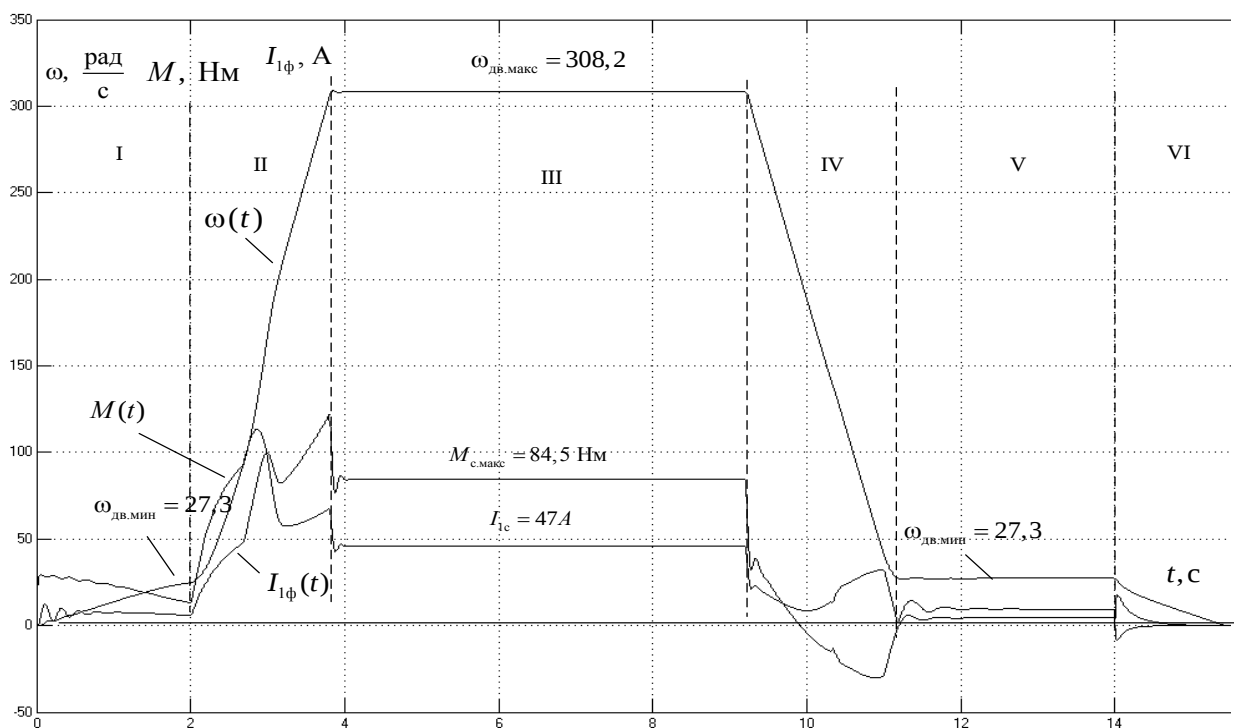


Рисунок 5.11 – Исследование цикла электропривода вентилятора при $T_{\text{сб}} = 2 \text{ с}$:

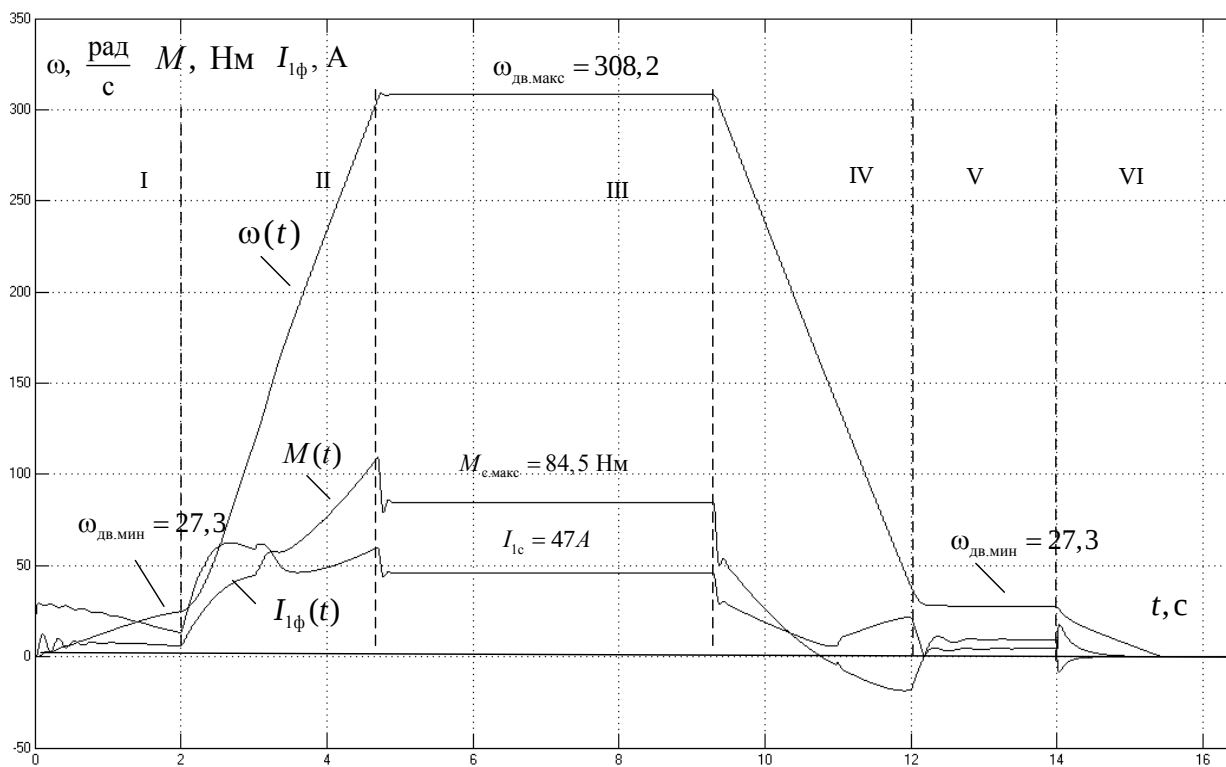


Рисунок 5.12 Исследование цикла электропривода вентилятора при $T_{св} = 3 \text{ нс}$:

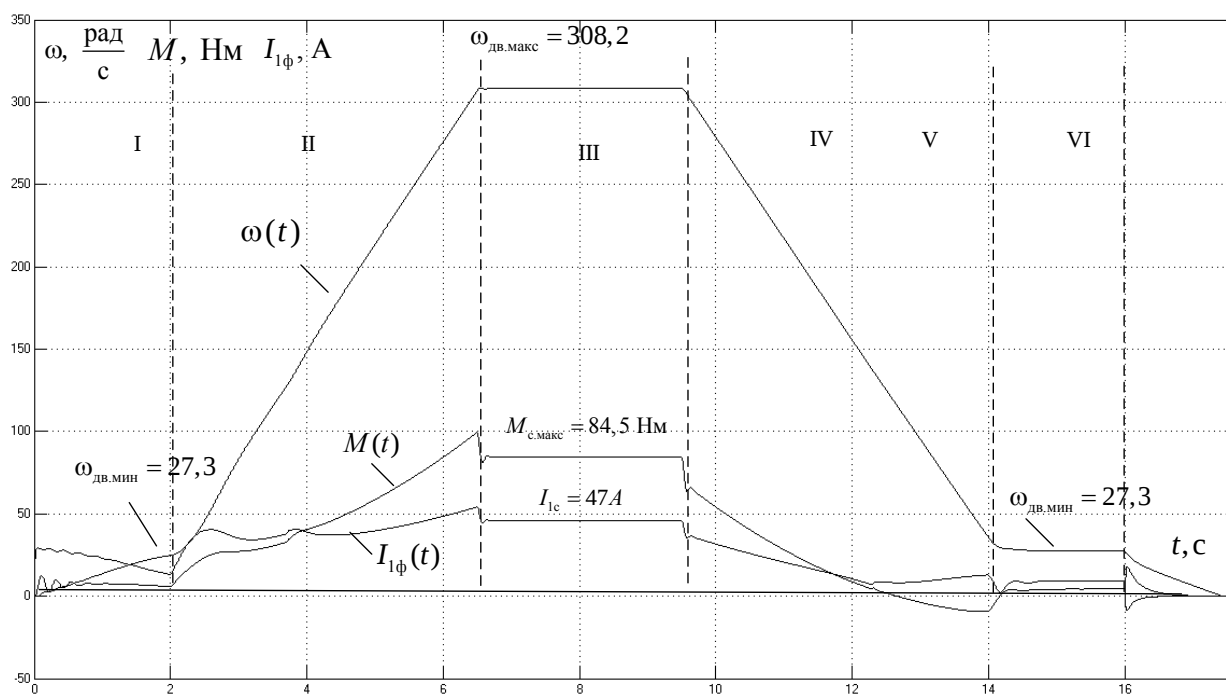


Рисунок 5.13 – Исследование цикла электропривода вентилятора при $T_{св} = 5 \text{ нс}$:

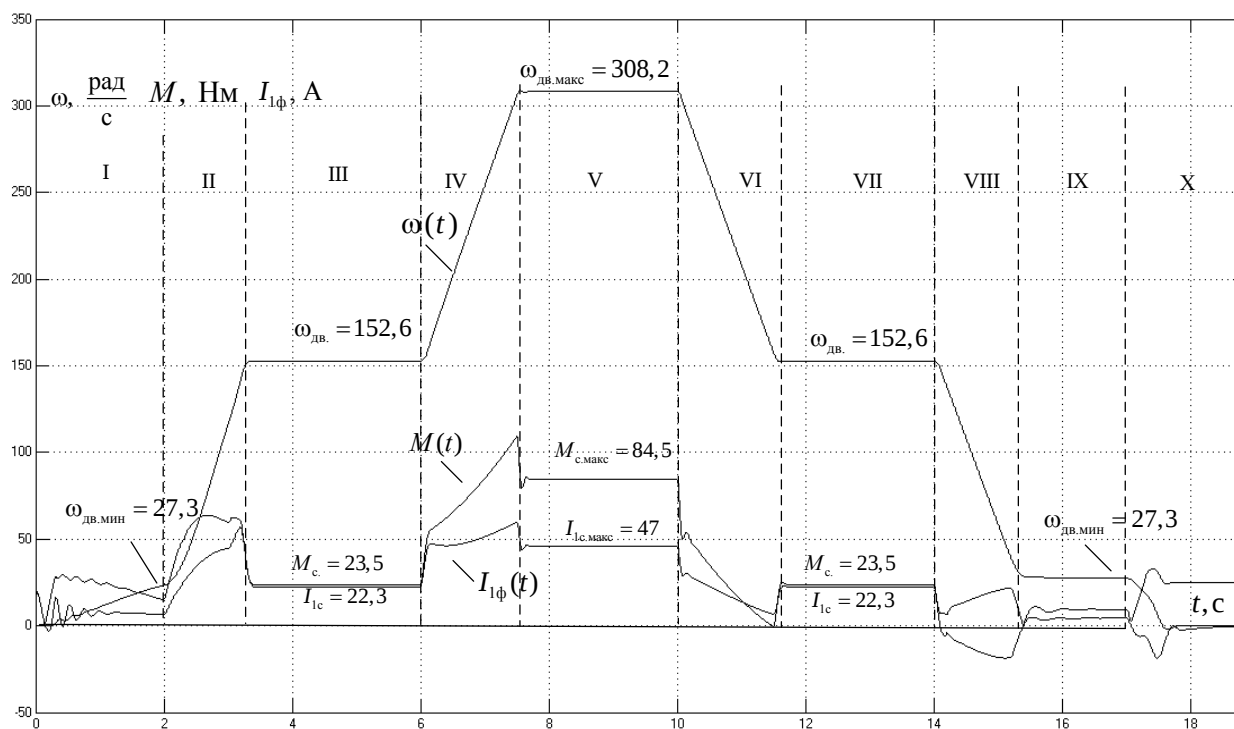


Рисунок 5.14 Исследование цикла электропривода вентилятора при $T_{\zeta\epsilon} = 3 \text{ п}$:

На рисунке 5.14 для сравнения приведены результаты имитационных исследований при $T_{\zeta\epsilon} = 3 \text{ п}$ отработки электроприводом вентилятора более сложного цикла: при пуске и торможении производится выход на промежуточную скорость $\omega_{\text{дв.}} = 152,6 \text{ рад/с}$.

Выводы: Результаты исследований, проведенных выше, показывают, что частотно-регулируемый асинхронный электропривод вентилятора под «вентиляторной» нагрузкой при скалярном управлении с законом управления $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и корректировкой вольт-частотной характеристики в соответствии с таб.5.1 обеспечивает пуск электропривода с начальной частоты $f_{\text{и. мин}} = 5 \text{ Гц}$ и требуемый диапазон регулирования скорости вентилятора. Для обеспечения мягкого пуска вентилятора достаточно принять постоянную времени ЗИ равную $T_{\zeta\epsilon} = 5 \text{ п}$

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В современных условиях успешное функционирование промышленного предприятия немыслимо без использования современных технологий, а также постоянного совершенствования производимой продукции. В настоящее время ситуация на рынке такова, что предприятию необходимо просто напросто выживать в условиях жестокой конкуренции с отечественными и зарубежными производителями. Поэтому необходимо постоянно совершенствовать производимую продукцию с точки зрения улучшения качества, а также оптимизации затрат за счет использования новых технологий, более совершенного технологического оборудования.

В данной части выпускной квалификационной работы будет произведен выбор наиболее выгодного варианта электропривода для рассматриваемого объекта автоматизации. В нашем проекте рассматривается частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Основными преимуществами этого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока являются:

1. Более низкая стоимость;
2. Низкие затраты на обслуживание;
3. Обеспечение требуемой степени защиты. Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Это важно для рассматриваемого применения, так как оно связано с концентрацией взрывоопасных паров в окружающей среде и требует специальную степень защиты от взрыва электрических машин 1ExdIIBT4.

6.1 Выбор и обоснование структурной (принципиальной) схемы электропривода

Выбор структурной схемы производится посредством сравнения нескольких вариантов сводится к выбору наиболее оптимального.

I вариант: электропривод с двигателем постоянного тока;

II вариант: частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором

Таблица 6.1 – Характеристики вариантов

	Варианты		Примечания: (преимущества, недостатки)
	I	II	
1.Общее количество составных частей	2	2	
2.Количество типов элементов	2	2	
3. Количество оригинальных элементов	1	1	
4. Стоимость покупных комплектующих		Стоимость в 1,5 раза меньше	Простота конструкции
5. Показатели надежности		Надежность, простота обслуживания	Отсутствие щеточного аппарата
6. Питание:			
а) вид	U=380 В	U=380 В	
б) мощность	P= 25 кВт	P= 25 кВт	
7. Габариты, мм.	1075x750x975	1000x750x975	Компактность
8. Масса, кг.	420	390	Экономия материала на изготовление

Произведем оценку по следующим показателям:

1. Уровень капитальных вложений.
2. Уровень надежности.
3. Уровень обслуживания.
4. Взрывозащищенность.

5. Уровень затрат на эксплуатацию.

6. Коэффициент мощности.

7. Уровень шума

Таблица 6.2 - Коэффициент весомости критериев

Номер критерия	1	2	3	4	5	6	7
Коэффициент веса критерия	1.0	0.8	0.6	0.3	0.4	0.2	0.1

По каждому частотному критерию устанавливаем оценку степени обеспечения цели:

Таблица 6.3 – Значение оценок критериев

Уровень цели	Низкий	Средний	Высокий
Оценка обеспечения цели	1.0	0.5	0

Оценка обеспечения различных вариантами электроприводов выбранных качественных характеристик представлена в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Оценки критериев по вариантам

Номер варианта	Групповой критерий							Общая оценка качества
	1.0	0.8	0.6	0.3	0.4	0.2	0.1	
I	0,5	0	0,5	0	0,5	0,5	0	1,10
II	1,0	0,5	1,0	0	0,5	0	1	2,30

Из таблицы 6.4 видно, что выбранные качественные характеристики обеспечиваются в варианте II.

6.2 Анализ и оценка научно-технического уровня проекта (НТУ)

Чтобы произвести оценку научной ценности, технической значимости и эффективности проекта необходимо рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$HTU = \sum_{i=1}^n k_i \cdot \Pi_i ,$$

где

k_i – весовой коэффициент i – го признака;

Π_i – количественная оценка i – го признака.

Таблица 6.5 – Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.6
Теоретический уровень	0.4
Возможность реализации	0.2

Таблица 6.6 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 6.7 – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
Разработка способа (алгоритм, вещество, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 6.8 - Возможность реализации по времени и масштабам

<u>Время реализации</u>	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
<u>Масштабы реализации</u>	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0.6, \Pi_1 = 6, k_2 = 0.4, \Pi_2 = 7, \\ k_3 = 0.2, \Pi_3 = 10, k_4 = 0.2, \Pi_4 = 4.$$

$$НТУ = 0.6 \cdot 6 + 0.4 \cdot 7 + 0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 4 = 9.2$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет хорошие показатели новизны, значимость теоретического уровня, и при этом используется в широком спектре отраслей за сравнительно небольшое время реализации.

6.3 Планирование проектных работ

Планирование проекта – это составление календарных планов выполнения комплексов работ, определение денежных средств, необходимых для их реализации, а также трудовых и материальных ресурсов.

Основные задачи:

1. Взаимная увязка работ проекта;
2. Согласование выполнения отдельных этапов работ во времени, определение их длительности и обеспечение их выполнения в установленные сроки;
3. Определение общего объема работ и потребных для его выполнения денежных, материальных и трудовых ресурсов;
4. Распределение общего объема работ между исполнителями.

Определение трудоемкости и продолжительности работ осуществляется на основе отраслевых нормативов, типовых норм на разработку конструкторской документации, а для работ, обладающих большой неопределенностью на основе вероятностных (экспертных) методов, широко используемых в СПУ.

Таблица 6.9 – Типовое содержание проектных работ

Содержание работ	Продолжительность работ, ожид/день			Исполнители
	$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ож}}$	
1. Разработка ТЗ на проектирование	3	5	3	РП, И.
2. Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	4	5	5	РП, И.
3. Описание объекта автоматизации (модернизации)	13	20	17	РП, И.
4. Кинематическая схема механизма	5	10	8	РП, И.
5. Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	12	15	14	РП, И.

6. Расчет мощности и выбор электродвигателя	3	5	5	РП, И.
7. Выбор способа регулирования скорости	7	10	9	РП, И.
8. Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	6	10	8	РП, И.
9. Разработка математической модели системы АУ ЭП	24	30	30	РП, И.
10. Оптимизация САР электропривода	20	25	23	РП, И.
11. Разработка программы имитационного моделирования	10	15	12	РП, И.
12. Вопросы безопасности и экологичности проекта	6	10	10	РП, И.
13. Техничко-экономические расчеты	8	13	10	РП, И.
14. Составление пояснительной записки	35	45	40	РП, И.
15. Разработка графического сопровождения проекта	20	25	25	РП, И.

РП –руководитель проекта;

И – инженер.

График выполнения работ по дням составлен на год с учетом всех выходных, предпраздничных и праздничных дней. Общее количество рабочих дней = 250, которые требуются на выполнение данного проектирования.

6.4 Расчет сметы затрат на проектирование

Расчет сметы затрат на выполнение проекта, частью которого является ВКР, студента-дипломника, рекомендуется осуществлять методом сметных калькуляций по отдельным статьям расходов, всех видов необходимых ресурсов (таблица 6.10).

Таблица 6.10 - Смета затрат на проектирование

Статьи расхода	Сумма		Примечания
	руб	%	
1. Материалы, покупные п/ф и комплектующие изделия	20000		
2. Специальное оборудование	35000		Стенды, приборы, установки, программы
3. Основная заработная плата научно-производственного персонала	85000		
4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	8500	10	$10 \div 15\%$ от ст.3
5. Отчисления на социальные нужды	28050	27	30% (ст.3+ст.4)
6. Расходы на научные и производственные командировки	28050	10	$5 \div 10\%$ от(ст.3+ст.4)
7. Расходы и услуги сторонних организаций	48000		
8. Накладные расходы	68000	80	$60 \div 80\%$ от ст.3
9. Плановая прибыль	15164	8	$6 \div 8\%$ от (ст.3+4+5+8)
10. Годовая сметная стоимость проекта	365764		

6.5 Расчет капитальных вложений на реализацию проекта

Капитальные вложения (инвестиции в реальные активы предприятия) включают:

- Затраты на предпроектные работы;
- Затраты на приобретение, доставку, установку и наладку оборудования;
- Сопряженные затраты
- Затраты на пополнение оборотных средств.

Таблица 6.11 - Бюджет инвестиций

	Кол-во	Цена, руб	Общая стоимость, руб
I. Оборудование:			
Вентилятор ВМЭ-6	1	115153	115153
Частотный преобразователь EI-P7012-040H 380В	1	143300	143300
II. Стоимость монтажных и пусконаладочных работ, в % от I.		15507	15507
Комплектный привод (6%)			
Некомплектный (15%)		5479	5479
III. Транспортно-заготовительные расходы 2%(I+II)		1550	1550
IV. Плановые накопления монтажной организации (6-15%) от II		365764	365764
V. Сметная стоимость проектно-конструкторских работ			
Всего затрат			646753

Были рассчитаны капитальные вложения необходимые для реализации проекта с учетом цен май 2016 г.

6.6 Расчет расходов при эксплуатации электропривода

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

- Расходы на электроэнергию
- Заработная плата обслуживающего персонала
- Амортизационные отчисления
- Затраты на ремонт
- Расходы на материалы, связанные с эксплуатацией

Расчеты отдельных статей эксплуатационных расходов ведутся по формулам:

- Расчет стоимости силовой электроэнергии

Силовая электроэнергия используется для питания приводов рабочих механизмов и рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сил эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}},$$

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{37 \cdot 500 \cdot 0,65 \cdot 0,7 \cdot 0,8}{0,94 \cdot 0,93} = 7703 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где

$P_{\text{уст}}$ – мощность установленного оборудования, кВт;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования, час;

$k_{\text{м}}$ – коэффициент одновременного использования электродвигателей
(0.6–0.7);

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования оборудования по машинному времени
(0.6–0.8);

$k_{\text{з}}$ – средний коэффициент загрузки оборудования (0.7–0.8);

$k_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий потери в сети (0.92–0.95);

$k_{\text{дв}}$ – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0.9–0.93).

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

$$C_{\text{эл}} = W_{\text{сил эн}} \cdot C_{\text{э}},$$

где $C_{\text{э}}$ – стоимость одного кВт·часа электроэнергии для промышленных предприятий.

$C_{\text{э}}$ - одноставочный тариф на потребляемую электроэнергию для предприятия составляет 3,65 руб/кВт·ч для Томского района на 1.03.2016 г.

$$C_{\text{эн}} = 7703 \cdot 3,65 = 28115 \text{ руб}$$

Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_{\text{А}}}{100},$$

где K – капитальные вложения в электрооборудование;

H_A – проценты отчислений на амортизацию.

- Преобразователи – 3.5%

$$A_{\text{год}} = K \times \frac{H_A}{100} = 143300 \times 0,035 = 5016 \text{ руб.}$$

- Электропривод – 9.6%

$$A_{\text{год}} = K \times \frac{H_A}{100} = 115153 \times 0,096 = 11055 \text{ руб.}$$

6.7 Издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов

Оборудование электроприводов (электродвигатели, генераторы, трансформаторы и т.д.) является ремонтируемым. Оно подвергается планово-предупредительным ремонтам, периодичность и объем которых регламентируется системой ППР и сетей промышленной энергетики.

Затраты на ППР электропривода

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{м}} + C_{\text{опр}} + C_{\text{охр}},$$

где

$C_{\text{зар}}=96$ руб·час – заработная плата ремонтных рабочих;

$C_{\text{м}} =84$ руб·час – стоимость материалов для ремонта (= основная зарплата без доплат);

$C_{\text{опр}}=168$ руб·час – общепроизводственные расходы (= 200% от основной зарплаты);

$C_{\text{охр}} =67,2$ руб·час – общехозяйственные расходы (= 80% от основной зарплаты).

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{м}} + C_{\text{опр}} + C_{\text{охр}} = 96 + 84 + 168 + 67,2 = 415,2 \text{ руб· час}$$

Для определения составляющих затрат на ППР необходимо установить периодичность ремонтного цикла, межремонтного периода, и трудоемкость работ по ППР. По трудоемкости работ определяется зарплата энергоперсонала.

Таблица 6.12 – Нормы трудоемкости ремонта электропривода

Мощность, кВт	Норма трудоемкости, чел-ч		
	Капитального ремонта без перемотки обмоток	Текущего ремонта	Технического обслуживания
25	36	12	8

Таблица 6.13 – Затраты на ППР электропривода

	Норма трудоемкости, чел-ч	Периодичность	Затраты на ППР электропривода в час	Затраты на ППР электропривода
Капитального ремонта без перемотки обмоток	36	Раз в 2 года	415.2	14947
Текущего ремонта	12	Раз в 6 месяцев	415.2	4982
Технического обслуживания	8	Раз в месяц	415.2	3322

В данной таблице рассчитаны затраты необходимые на планово–предупредительные работы, которые способствуют продлению эксплуатации данного электропривода.

Таблица 6.14 –Затраты на ППР электропривода в год

Вид ППР	Затраты на ППР электропривода в год
Капитального ремонта без перемотки обмоток	7474
Текущего ремонта	9964
Технического обслуживания	39864
Итого	57302

В данной таблице рассчитаны затраты на планово-предупредительные работы, которые были произведены, исходя из расчетов ППР электропривода в год.

В данной части ВКР был экономически обоснован выбор электропривода с асинхронным двигателем, был проведен расчет коэффициента научно-технического уровня, который оказался довольно высоким, что указывает на высокий потенциал данного проекта. Также было выполнено планирование проектных работ, расчет сметы затрат на проектирование, расчет капитальных вложений на реализацию и расчет расходов при эксплуатации данного электропривода. Были рассчитаны издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов, т.е. затраты на планово-предупредительные работы.

7. Социальная ответственность

7.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Для человека любой вид деятельности может быть полезен для существования, но может быть также источником негативных воздействий, вызывать травмы, заболевания, а порой и летальные исходы.

Считается, что любая деятельность потенциально опасна.

Опасными называют факторы, способные привести к травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья.

Вредный фактор – это негативное воздействие на человека, которое приводит к ухудшению самочувствия или заболеванию.

Опасными и вредными физическими факторами являются движущиеся машины и механизмы, перемещаемые грузы, отлетающие частицы обрабатываемого материала и инструмента, повышенная и пониженная температура воздуха, оборудования и обрабатываемых материалов, высокая влажность и скорость движения воздуха, повышенный уровень шума, вибрации, ультразвука, ионизирующих излучений, запыленность и загазованность воздуха, недостаточная освещенность, электрический ток.

Горные предприятия отличаются наличием большого количества опасных факторов и это приводит к высокому уровню травматизма среди работников. Среди горных предприятий наибольшее число несчастных случаев приходится на угольную отрасль, особенно на угольные шахты.

Опасными производственными факторами для угледобывающих предприятий являются:

1. Поражения электрическим током;
2. Взрывы и пожароопасность;
3. Обрушение горных выработок;
4. Выбросы пород и газа;
5. Горные удары.

Вредными производственными факторами являются:

1. Неблагоприятных метеорологических условий;
2. Влияние пыли;
3. Шум от работающих механизмов;
4. Вибрация;
5. Недостаточное освещение;

Опасными зонами в шахтах чаще всего бывают:

- участки выработок, в которых склонные к обрушению горные породы ненадежно удерживаются от обрушения из-за отсутствия крепи, плохого ее состояния или из-за неправильно выбранных параметров горных работ;

- пространства, примыкающие к не огражденным, движущимся (особенно вращающимся) частям и органам, а также передвигающимся транспортным средствам (вагонам, электровозам, клетям и др.);

- части горных выработок, по которым могут проходить ударные и тепловые волны взрыва, разлетаться куски горных пород при взрывной отбойке, горном ударе или внезапном выбросе горных пород и газов, а также распространяться вредные газы;

- пространства, примыкающие к находящимся под напряжением неизолированным токоведущим частям или проводникам;

- места, находящиеся под угрозой прорыва воды, глины, пульпы, закладки, плывунов;

- участки значительного и концентрированного выделения и возможного, образования недопустимых концентраций метана, углекислого газа и других вредных и опасных газов;

- непроветриваемые или плохо проветриваемые горные выработки,

- участки выработок, на которых не соблюдаются безопасные зазоры и проходы или отсутствуют перекрытия (полки), предохраняющие людей от падения;

- зоны, примыкающие к струе жидкости, выбрасываемой гидромонитором при гидравлической отбойке горных пород.

7.2 Микроклимат на рабочем месте

Трудовая деятельность человека протекает в определенных метеорологических условиях, которые определяются сочетанием температуры воздуха, скорости его движения, относительной влажностью, барометрическим давлением и тепловым излучением от нагретых поверхностей.

Чрезмерный перегрев организма ухудшает работоспособность, резко учащается пульс и дыхание, нарушается водносолевой баланс, замедляется мыслительная деятельность, вызываются сердечно-сосудистые заболевания. Наиболее тяжелые последствия – тепловой удар. Его симптомы – рвота, головокружение, расширение кровеносных сосудов, падение кровяного давления, судороги, потеря сознания. Тепловой удар может привести к смерти.

При охлаждении тела резко падает работоспособность, теряется координация движений, появляется сонливость, заторможенность центральной нервной системы. При очень сильном охлаждении ухудшается кровообращение и создается опасность замерзания. Местное и общее охлаждение организма является причиной многих заболеваний: миозитов, невритов, радикулитов, простуды и др.

Для обеспечения нормальных условий труда в горных выработках шахт и рудников устанавливаются допустимые пределы температуры в зависимости от его относительной влажности и скорости движения. Согласно Правилам безопасности в угольных шахтах температура воздуха в горных выработках, где люди находятся полную рабочую смену, не должна превышать 26°C при скорости более 2 м/с и влажности от 60 до 100 %. При скорости воздуха до 0,25 м/с, допустимы следующие температуры: при влажности 60–75% – $16\text{--}20^{\circ}\text{C}$; влажности 76–90% – $18\text{--}20^{\circ}\text{C}$; влажности более 90% – $18\text{--}22^{\circ}\text{C}$. Температура поступающего в шахту воздуха не должна быть ниже $+2^{\circ}\text{C}$. На температуру воздуха в шахтах влияют различные процессы: изменение температуры горных пород с глубиной, повышение температуры воздуха при движении по стволу вниз за счет адиабатического сжатия (на 1 град. на каждые 100 м), работа

механизмов , взрывные работы, процессы окисления угля и др. С целью обеспечения необходимой температуры в горных выработках подаваемый в шахту воздух нагревают зимой и могут охлаждать летом; управляют вентиляцией изменяют количество подаваемого воздуха и пути его движения, регулируют его влажность.

Для различных горных выработок устанавливают следующие максимально допустимые скорости воздуха: в стволах с подъемом людей только в аварийных случаях до 15 м/с; в стволах для спуска и подъема груза до 12 м/с; стволы для транспортировки людей и груза, главные откаточные и вентиляционные штреки до 8 м/с; все прочие выработки по углю и породе до 6 м/с; призабойные пространства очистных и тупиковых выработок до 4 м/с. Минимальная скорость воздуха в призабойных пространствах всех шахт не должна быть меньше 0,25 м/с. Минимальная скорость воздуха в камерах не регламентируется. При температуре воздуха ниже 16°С скорость воздуха в призабойных пространствах, где ведутся работы, не должна превышать 0,75 м/с. Для контроля теплового режима в горных выработках регулярно измеряют температуру, влажность и скорость его движения. Измерение температуры и относительной влажности воздуха производится гигрометрами и психрометрами, состоящими из двух термометров, один из которых увлажняется. Из-за испарения жидкости влажный термометр покажет меньшую температуру. По разности температур определяют относительную влажность воздуха при помощи психрометрических таблиц или номограммы.

Добыча полезных ископаемых приводит к образованию большого количества пыли, особенно при механическом дроблении горных пород и полезного ископаемого, их взрывании, погрузке, транспортировке. Действие пыли на организм человека зависит от ее химического состава, дисперсности (степени измельчения), концентрации в воздухе, времени пребывания человека в запыленной атмосфере, формы пылинок и их возраста.

В воздухе пыль ухудшает видимость, засоряет и раздражает слизистые оболочки глаз, верхние дыхательные пути, загрязняет кожу и способствует

развитию воспалительных кожных заболеваний. Наибольшую опасность для легких представляют пылинки размером от 0,2 до 5 мк. При длительном вдыхании пыли происходит разрастание соединительной ткани в дыхательных путях, вызывающее профессиональное заболевание – пневмокониоз.

Установлены следующие нормы запыленности воздуха: - при содержании кристаллической двуокиси кремния более 70 % – 1 мг/м³ ; - при содержании кристаллической двуокиси кремния от 10 до 70% – 2 мг/м³ ; - при содержании кристаллической двуокиси кремния от 2 до 10% – 4 мг/м³ ; - цемент, глина, антрацит с двуокисью кремния до 5 % – 6 мг/м³ ; - каменный уголь с долей свободной двуокиси кремния до 5 % – 10 мг/м³ . На угольных шахтах удельное пылевыведение колеблется от 50 до 1000 г/т добытого угля, а чаще всего составляет 100–200 г/т.

Существуют следующие способы борьбы с пылью на горных предприятиях.

1. Предупреждение или снижение пылеобразования. Реализация этого направления может быть обеспечена внедрением машин с крупным сколом угля, а также предварительным увлажнением угольного массива путем нагнетания воды в пласт через скважины, пробуренные из подготовительных выработок или очистного забоя. Предварительное увлажнение уменьшает механическую прочность горных пород, увлажненные частицы соединяются между собой, быстро оседают. Повышает эффективность увлажнения пласта добавка поверхностно-активных веществ . Снижается образование пыли и в случае использования гидроотбойки угля и пород.

2. Осаждение пыли, взвешенной в воздухе, путем орошения. Низконапорное орошение (давление жидкости у оросителя до 2 МПа) применяют в очистных и подготовительных забоях для подачи воды в зону разрушения массива (расход воды 10–25 л/т). Применяется такое орошение и при погрузке и перегрузке горной массы (расход воды 6–15 л/т), а также для осаждения витающей пыли из воздуха. Высоконапорное орошение (давление

воды до 15 МПа) обеспечивается туманообразователями для осаждения пыли, витающей в воздухе.

3. Для борьбы с пылью используют также пену, подаваемую на поверхность, с которой выделяются мелкодисперсные частицы.

4. Концентрацию выделившейся в воздух пыли снижают путем дополнительной подачи воздуха средствами вентиляции.

5. Выделяющуюся пыль удаляют путем пылеотсоса.

6. Для предотвращения попадания пыли в организм человека используют средства индивидуальной защиты (респираторы «Лепесток», Ф-62Ш, «Астра-2»).

7.3 Рудничное освещение

Правильно организованное освещение рабочего места обеспечивает сохранность зрения человека, нормальное состояние его нервной системы, а также безопасность в процессе производства.

Производственное освещение может быть естественным, искусственным и совмещенным. Особенностью работы в шахтах является отсутствие естественного освещения. Искусственное освещение осуществляется электрическими лампами или прожекторами. Оно может быть общим, местным или комбинированным. По функциональному назначению различают общее, аварийное, эвакуационное, охранное и дежурное искусственное освещение.

Для освещения производственных помещений используют лампы накаливания, газоразрядные лампы. Недостатком ламп накаливания является небольшой срок службы (около 2 тыс. ч) и небольшая светоотдача (7–20 лм/Вт). Газоразрядные лампы имеют большую светоотдачу (40–110 лм/Вт) и срок службы около 10000 часов, но их недостаток – пульсация светового потока, длительный период разгорания, необходимость пусковых устройств.

На промплощадке шахты освещению подлежат все места работ, приемные площадки у ствола, лестницы, проходы для людей, помещения электромеханических установок, автотранспортные, железнодорожные и

другие пути. В зданиях подъемной машины, главной вентиляционной установки, компрессорной, машинных отделениях холодильных установок, надшахтных зданиях стволов, зданиях лебедок породных отвалов и канатных дорог, зданиях дегазационных установок, котельных, зданиях угольных бункеров, в административно-бытовых комбинатах должно предусматриваться аварийное освещение от независимого источника питания. Во всех перечисленных зданиях, кроме зданий подъемных машин, допускается применение для аварийного освещения индивидуальных аккумуляторных светильников. -

Работники, занятые на подземных работах, должны обеспечиваться аккумуляторными светильниками индивидуального пользования. Количество исправных аккумуляторных светильников на каждой шахте, включая светильники, совмещенные с метансигнализаторами, должно быть на 10 % больше списочного числа работников, занятых на подземных работах.

Каждый аккумуляторный светильник закрепляется за работником и снабжается табличкой с указанием его табельного номера. Светильники должны быть опломбированы и обеспечивать непрерывное нормативное освещение продолжительностью не менее 10 ч. Световой поток головных светильников 30 лм. Светильники оснащаются двух нитевыми лампами, что позволяет переключать батарею с рабочей нити на аварийную для продления срока непрерывного горения.

На каждой шахте должна быть устроена ламповая, размещаемая в помещении из негорючих материалов. Ламповая оборудуется автоматическими зарядными станциями, рассчитанными на эксплуатацию герметичных и доливных аккумуляторных батарей, а также иметь тренировочную зарядную станцию.

Аварийное освещение должно быть смонтировано в стволе, околоствольном дворе, камере главного водоотлива, электрокамерах, складах взрывчатых материалов, а также в местах пересечения выработок, тоннелей и в выработках большой протяженности.

Расчет освещения горных выработок на участке заключается в выборе выработок участка, подлежащих освещению, выборе светильников и определения их количества, выборе источников питания и их количества, выборе магистральных кабелей освещения. Расчет освещения производим для очистного забоя, Выбираем светильники РВЛ – 20М.

Техническая характеристика РВЛ – 20М.

Исполнение _____ РВ 1В

Напряжение В _____ 127

Мощность _____ 20

КПД% _____ 65

Световой поток _____ 980

Лампа _____ ЛБ – 20

Освещенность на почве выработки определяется точечным методом по формуле:

$$E_r = \frac{2 \cdot C J_a \cdot \cos^3 \alpha}{K \cdot h^2}, ЛК$$

Где 2 – число смежных светильников, освещающих расчетную точку (рисунок 1);

C – коэффициент, определяемый отношением светового потока принятой лампы Φ_l к световому потоку условной лампы, у которой $\Phi_u = 100 Лм$.

I_a – сила света под углом α , $I_a = 95 св$;

α – угол падения светового потока (рисунок 1);

h – высота подвеса светильников (принимаем высоту подвеса светильников 2М);

K – Коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности в процессе эксплуатации светильников (принимается в пределах 1,2. Принимаем K – 1,5)

$$C = \frac{\Phi I}{1000} = \frac{980}{1000} = 0,98$$

Углы α определяем через $\operatorname{tg} \alpha$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{L_{CB}}{2h}$$

Где L_{CB} – расстояние между светильниками. Принимаем $L_{CB} = 6\text{ м}$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{6}{2 \cdot 2} = 1,5, \text{ тогда } \alpha = 56^\circ$$

$$\cos^3 \alpha = 0,56^3 = 0,176$$

$$E_r = \frac{2 \cdot 0,98 \cdot 95 \cdot 0,176}{1,5 \cdot 4} = 5,5 \text{ Лк}$$

5,5 Лк выше номинальной освещенности 2 Лк

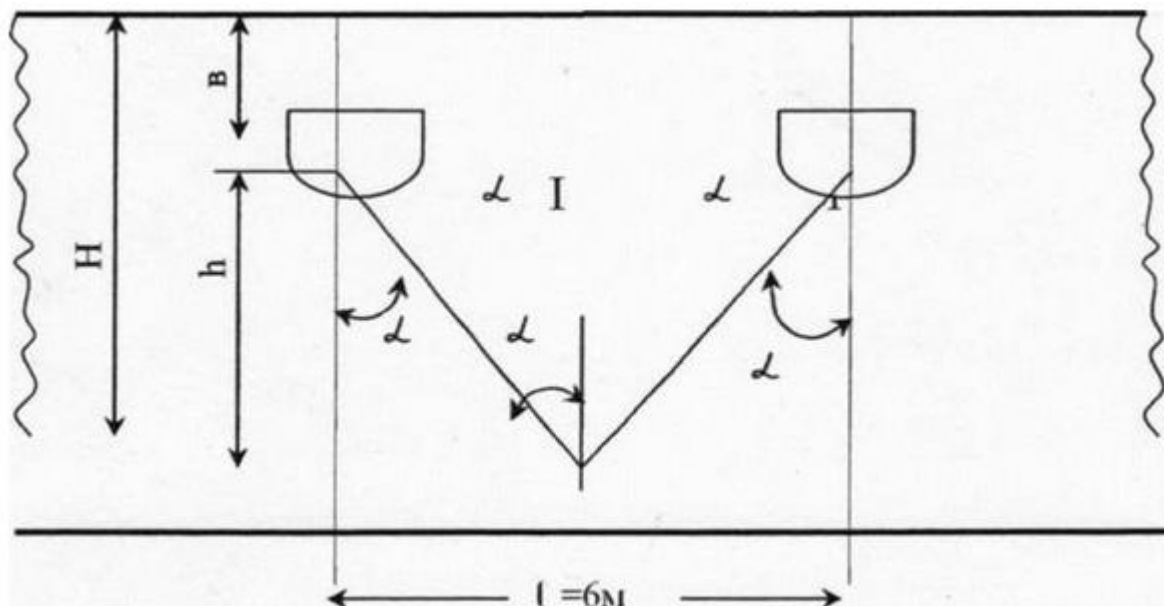


Рисунок 7.1 - Схема к расчету освещенности точечным методом.

Число светильников определяется по формуле:

$$n = \frac{L}{L_{CB}} \text{ штук}$$

Где L – длина освещаемой выработки, м.

$$n = \frac{200}{6} = 34 \text{ штуки.}$$

Суммарная расчетная мощность трансформаторов освещения выработок участка:

$$\Sigma S_{Tr.осв.} = \frac{\Sigma P_{CB}}{\eta_c \cdot \cos \varphi_{CB}}, \text{кВа}$$

Где ΣP_{CB} - суммарная установленная мощность светильников освещаемой выработки;

η_c – КПД осветительной сети (95 ÷ 97%) . Принимаем $\eta_c = 0,95\%$

$\cos \varphi_{CB}$ – коэффициент мощности светильника $\cos \varphi_{CB} = 0,5$.

$$\Sigma P_{CB} = \frac{P_L \cdot n}{10^3 \cdot \eta_{CB}} \text{кВт}$$

Где P_L – мощность лампы светильника, Вт

η_{CB} – КПД светильника.

$$\Sigma P_{CB} = \frac{20 \cdot 34}{10^3 \cdot 0,5} = 1,36 \text{ кВт}$$

$$\Sigma S_{Tr.осв} = \frac{1,36}{0,95 \cdot 0,5} = 2,9 \text{ кВА}$$

Сечение кабелей для освещения выработок участка из условия допустимой потери напряжения:

$$S_P = \frac{M}{C \cdot \Delta U}, \text{мм}^2,$$

где M – момент нагрузки на кабель освещения забоя очистной выработки кВт;

C – коэффициент, учитывающий допустимую температуру нагрева токоведущих жил кабеля. Для кабелей с медными жилами в сети 127В $C=8,5$.

$$M = \frac{\Sigma P_{CB} \cdot L}{2},$$

где L – длина лавы, м.

$$M = \frac{1,36 \cdot 200}{2} = 136 \text{ кВт}$$

$$S_P = \frac{136}{8,5 \cdot 4} = 4 \text{ мм}^2$$

По расчетному сечению жилы кабеля S_P принимают кабель, соблюдая условие:

$$S_P \leq S$$

$$4 \leq 6$$

Сечение принимаемого кабеля 6 мм^2 кабель КГЭШ $3 \times 6 + 1 \times 2,5$ для питания световой сети принимаем пусковой агрегат АПШМ – 2.

Проверку защиты от токов короткого замыкания производим на чувствительность срабатывания:

$$\frac{I_{K3}^{(2)}}{I_y} \geq 1,5$$

$I_{K3}^{(2)}$ – определяем по методу приведенных длин;

$$L_{ПР} = L \cdot K_{ПР}$$

Где L – длина освещаемой выработки, м.

$K_{ПР}$ – коэффициент приведения сечения кабеля к 4 мм^2 .

В нашем случае $K_{ПР} = 0,67$.

$$L_{ПР} = 200 \cdot 0,67 = 134 \text{ м}$$

$$I_{K3}^{(2)} = 75 \text{ А}$$

$$I_y \approx 1,25 \cdot I_H$$

$$I_y = 1,25 \cdot 40 \approx 50 \text{ А} \text{ принимаем } 40 \text{ А}$$

$$\frac{75}{40} = 1,87$$

$$1,87 \geq 1,5$$

Защита от токов короткого замыкания обеспечена.

7.4 Защита от шума и вибрации

Степень воздействия шума на организм зависит от громкости, высоты, тембра звука и продолжительности воздействия. Результатом действия шума может быть нарушение слуха, расстройство нервной системы, ухудшение самочувствия и работоспособности. В условиях шахт и рудников шум мешает вовремя распознать звуки, предшествующие обвалу кровли, горным ударам, выбросу угля, пород и газа. Шум заглушает сигналы при работе машин и механизмов, мешает правильно воспринимать их, что снижает безопасность работ.

Уровень громкости шума, не вызывающий вредных воздействий, называется нормальным пределом громкости. Для частоты 1000 Гц он соответствует 75–80 дБ. Для помещений, требующих речевой связи (нарядные, диспетчерские) допустимый уровень шума при частоте 1000 Гц равен 50 дБ. Воздействие шума уровнем выше 75 дБ может привести к потере слуха. При воздействии шума высоких уровней (около 180 дБ) может быть разрыв барабанных перепонки, контузия, а при дальнейшем увеличении (более 190 дБ) возможен летальный исход.

По своей природе шумы разделяются на механические (динамические процессы, деформации машин и механизмов), аэродинамические (пульсации давления в газах, жидкостях) и магнитные (силы, возникающие между статором и ротором электрических машин). На горных предприятиях практически все технологические процессы, также многие машины и механизмы являются источником шума. Причем уровень шума у некоторого оборудования превышает предельно допустимые уровни, что может быть причиной профессиональных заболеваний. Так, на расстоянии 2 м от бурильного молотка уровень звукового давления составляет 120 дБ, а от бурового станка СБШ-200 равен 96 дБ.

Способы борьбы с шумом могут быть коллективными и индивидуальными. Коллективные способы защиты включают:

- уменьшение шума в источнике;
- звукоизоляция;
- звукопоглощение;
- специальные глушители.

Средства индивидуальной защиты включают беруши, наушники и шлемы.

Снижение шума в источнике достигается улучшением конструкций машин, заменой металлических деталей на пластмассовые, заменой зубчатых передач на ременные, нанесением смазки, заменой ударных технологических процессов безударными.

Вибрация – это механические колебания, возникающие в

Упругих телах или телах, находящихся под воздействием переменного физического поля. Интенсивная и длительная вибрация может привести к серьезным изменениям деятельности всех систем организма и может вызвать заболевание – виброболезнь. Развитие патологии зависит от частоты и амплитуды колебаний, продолжительности воздействия, места приложения и направления оси вибрационного воздействия, явлений резонанса. Вибрация ощущается в диапазоне от 1 до 10000 Гц. Наиболее чувствителен организм к частотам от 2–3 до 250 Гц. Разные участки тела обладают разной чувствительностью к вибрации.

Источниками вибрации при угледобыче являются пневматические отбойные молотки, электрические и пневматические перфораторы, гидромониторы. Эти механизмы генерируют так называемую местную вибрацию, передающуюся главным образом на руки работающих. Их параметры значительно превышают допустимые санитарными нормами уровни вибрационной скорости в широком диапазоне частот. Работа с отбойными молотками связана с действием отдачи – обратного удара, частота этих ударов соответствует основной скорости колебания инструментов (25-30 Гц), амплитуда отдачи зависит от силы нажима (чем больше сила нажима, тем

меньше амплитуда отдачи). Именно с действием отдачи инструментов связаны поражения опорно-двигательного аппарата у шахтеров.

Общая вибрация выводит из строя вестибулярный аппарат, воздействует на нервную и сердечно-сосудистые системы человека, нарушает обменные процессы. Наблюдаются расстройства координации движения, нарушение зрительной функции. Существуют два направления борьбы с вибрацией:

- снижение вибрации в источнике возникновения;
- уменьшение параметров вибрации на пути ее распространения от источника.

Снижение вибрации в источнике возникновения достигают:

- изменением технологических процессов на безвибрационные (вместоковки и штамповки применяют прессование, клепку заменяют на сварку и т.д.);
- балансировкой вращающихся механизмов (устраняют неуравновешенность силовых воздействий в источнике, например, производят балансировку автомобильных колес);
- исключением резонанса собственной частоты вибрации оборудования и колебаний переменных внешних сил путем изменения массы, жесткости конструкции.

Для уменьшения параметров вибрации на пути ее распространения используют защитные устройства:

- вибродемпфирование – превращение механической энергии вибрации в тепловую в материалах с большим внутренним трением.

7.5 Электробезопасность

Электрический ток это самым распространенный вид энергии, используемый в промышленности, в том числе при подземной угледобыче. Применяемые в шахтах электрооборудование, кабели и системы электроснабжения должны обеспечить электробезопасность работников шахты, а также взрывобезопасность и пожаробезопасность. Для питания электрических машин и аппаратов в шахтах должно применяться напряжение:

- для стационарных приемников электрической энергии, передвижных подстанций и трансформаторов, а также при проходке стволов
 - не выше 10000 В;
- для передвижных электроприемников – не выше 3300 В. В отдельных случаях допускается применение напряжения 10000 В или 6000 В.;
- для ручных машин и инструментов – не выше 220 В;
- для цепей дистанционного управления и сигнализации комплектного распределительного устройства (КРУ) – не выше 60 В
- для цепей дистанционного управления стационарными и передвижными машинами и механизмами – не выше 42 В.

Поражение электрическим током может вызвать местные и общие нарушения в организме. Местные поражения могут вызвать от болевых ощущений до ожогов и обугливания отдельных частей тела. Общие поражения нарушают функции центральной нервной системы и органов дыхания, изменяют состав крови (электролиз). При поражении электротоком могут происходить потеря сознания, судороги, расстройство речи. Остановка сердца связана с фибрилляцией – хаотическим сокращением отдельных волокон сердечной мышцы (фибрилл). При тяжелом поражении электрическим током может наступить мгновенная смерть.

Эксплуатация электрооборудования и электросетей в шахтах повышает опасность их использования по следующим причинам:

- непрерывное продвижение фронта очистных и проходческих работ, что требует перемещения электрооборудования и наращивания электросетей;
- микроклиматические условия подземных работ характеризуются повышенной влажностью и запыленностью воздуха, обводненностью горных выработок, причем шахтные воды могут обладать повышенной агрессивностью из-за кислотности и содержания солей;
- стесненная обстановка в горных выработках, опасность обрушения горных пород, возможность образования в воздухе взрывоопасных концентраций горючих газов и угольной пыли.

Повреждение электрооборудования и нарушение изоляции могут стать не только причиной поражения людей электрическим током, но и вызвать взрывы горючих газов и угольной пыли. В подземных выработках шахт, опасных по газу или пыли, в стволах с исходящей струей воздуха этих шахт и в надшахтных зданиях, а также в стволах со свежей струей воздуха и примыкающим к ним надшахтным зданиям шахт, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа, если не исключено проникновение шахтного воздуха в эти здания, должно применяться электрооборудование с уровнем взрывозащиты не ниже РВ, стволовая сигнализация с уровнем РП, и аккумуляторные светильники индивидуального пользования с уровнем не ниже РВ.

В очистных и подготовительных выработках крутых пластов, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа, а также в выработках с исходящей струей воздуха с таких пластов должно применяться оборудование:

- электрооборудование с уровнем взрывозащиты РО;
- электрооборудование с уровнем РВ, если оно применяется с системой автоматического быстродействующего отключения напряжения и одновременного закорачивания источников эдс или с другими системами, автоматически отключающими питание раньше, чем концентрация метана достигнет опасной величины.

Система электрической защиты в шахтах не должна допускать поражения людей, возникновения пожаров, взрывов газа и пыли от электрического тока. Основными элементами системы электрической защиты в шахтах являются предупреждение прикосновения человека к токоведущим частям, защитное заземление, защитное отключение, применение электрозащитных средств, а также использование электрооборудования в конструктивном исполнении, учитывающем рабочие условия.

Защита от прикосновения к токоведущим частям предусматривает:

- размещение открытых токоведущих частей электроустановок на высоте, недоступной от случайного прикосновения;

- размещение электроустановок в закрытых корпусах, предотвращающих проникновение к токоведущим частям без специальных приспособлений и инструментов;
- применение специальных блокировочных устройств которые препятствуют доступу к токоведущим частям до снятия с них напряжения;
- ограждение щитками и другими приспособлениями открытых токоведущих частей.

Защитное заземление -это преднамеренное электрическое соединение с землей металлических нетокведущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Заземлению подлежат металлические части электротехнических устройств, нормально не находящихся под напряжением, но которые могут оказаться под напряжением в случае повреждения изоляции, а также трубопроводы, сигнальные тросы и др., расположенные в выработках, где имеются электрические установки и проводки.

В подземных выработках шахт должна быть общая сеть заземления, к которой присоединяются все объекты, подлежащие заземлению. Главные заземлители в шахтах (которых должно быть не менее двух, расположенных в разных местах, резервируют друг друга на время осмотра, чистки или ремонта) устанавливаются в зумпфах или водосборниках. Для местных заземлителей используется металлическая рамная или анкерная крепь, а также искусственные заземлители, устраиваемые в штрековых водоотливных канавках или в других пригодных местах. Для передвижных машин и забойных конвейеров должен предусматриваться непрерывный контроль заземления. Общее переходное сопротивление сети заземления, измеренное у любых заземлителей, не должно превышать 2 Ом.

Защитное отключение предусматривает автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения током. В качестве защитного отключения применяют реле утечки. Автоматическое отключение сети происходит при нарушении изоляции проводников, а также в случае прикосновения человека к токоведущим частям, что воспринимается

защитой как повреждение изоляции. При напряжении до 1200 В защита должна срабатывать мгновенно, в пределах до 0,2 с. В подземных сетях напряжением выше 1200 В защита от токов короткого замыкания и утечек на землю должна быть мгновенного действия (без выдержки времени). Защитное отключение применяется наряду с защитным заземлением.

Электрозащитные средства индивидуальной защиты подразделяются на основные и дополнительные. Основные изолирующие средства способны длительное время выдерживать рабочее напряжение электроустановки и ими можно касаться токоведущих частей, находящихся под напряжением. К ним относятся диэлектрические перчатки, инструмент с изолированными рукоятками, изолирующие штанги, указатели напряжения. Дополнительные изолирующие средства не обладают достаточной электрической прочностью и усиливают защитное действие основных изолирующих средств. В эту группу входят изолирующие подставки, диэлектрические галоши, коврики. Вспомогательные средства применяются для защиты от случайного падения с высоты, предохранения от световых и тепловых воздействий (канаты, когти, защитные очки, предохранительные пояса, противогазы).

К организационным мероприятиям, обеспечивающим безопасность работы с электроустановками, относят: отбор персонала, допуск к работе, надзор во время работы. К работе по обслуживанию электроустановок допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний, прошедшие специальное обучение, имеющие соответствующую квалификационную группу, проходящие инструктаж и периодическую проверку знаний по электробезопасности.

7.6 Обрушения горных выработок

Одной из основных причин несчастных случаев на шахтах является внезапное обрушение кусков и глыб полезных ископаемых и пород.

В угольных шахтах в забоях подготовительных выработок происходит около 35 % обрушений горных пород и угля. Доля тяжелых и смертельных

случаев травматизма из-за обрушений достигает в этих выработках 50 %. Несчастные случаи из-за обрушений происходят при установке крепи, погрузку породы и угля, оформлении забоев и бурении шпуров. Для предотвращения обрушений горных пород проводимые выработки должны быть своевременно закреплены и содержаться весь срок эксплуатации в соответствии с требованиями проектов и паспортов. Запрещается ведение любых горных работ без утвержденного паспорта, а также с отступлениями от него. При прохождении горных выработок не должно допускаться образование пустот за крепью выработки. В случае образования пустот они должны быть заложены, а в выработках, опасных по слоевым скоплениям метана, пустоты за крепью должны быть затампонированы. Основными горно-геологическими (природными) условиями, влияющими на уровень травматизма в очистных забоях, являются мощность и угол падения пласта, глубина ведения горных работ. При небольшой мощности пласта рабочие находятся в неудобной позе, быстро утомляются, их реакция замедляется. Поэтому увеличение мощности пласта от 0,5 до 2,0 м приводит к уменьшению травматизма. Последующее же увеличение мощности пласта способствует росту травматизма из-за возрастания отжима угля, увеличения массы применяемого очистного оборудования. Среди горнотехнических факторов, влияющих на травматизм, можно выделить скорость подвигания и длину лавы. Так, с увеличением скорости подвигания очистного забоя уменьшается вероятность обрушения пород непосредственной кровли, которые являются основной причиной травматизма в очистных забоях. Рост скорости подвигания приводит к уменьшению процесса сдвижения пород вокруг очистного забоя, снижению давления на крепь и расслоения пород непосредственной кровли. В случае остановки работ в очистной выработке на время свыше суток должны быть приняты меры по предупреждению обрушения кровли в призабойном пространстве, загазирования или затопления. Возобновление работ допускается с разрешения главного инженера шахты после осмотра очистной выработки инженерно-техническими работниками участка.

7.7 Взрывы газа и пыли

Взрывы горючих газов в шахтах относятся к наиболее опасным авариям и приводят, как правило, к групповому травматизму с тяжелыми последствиями. Наиболее распространенными горючими газами, которые могут выделяться в шахтах и образовывать с воздухом взрывоопасные смеси, являются метан, оксид углерода, водород, этан, ацетилен.

В соответствии с ПБ в угольных шахтах должны быть соблюдены следующие нормы чистоты воздуха:

Кислорода - не менее 20%;

Оксида углерода (CO) - не более 0,0017% (1%-смерть! взрывается при 13,5-70%);

Окислов азота - не более 0,00025%;

Двуокись углерода (CO₂);

Сероводород (H₂S) - не более 0,00071%, образуется при разложении органических веществ и горении угля, имеет запах тухлых яиц;

Сернистый газ (SO) - не более 0,00038%, сильный раздражающий запах, тяжелее воздуха, образуется при взрывных работах, пожарах, ядовит (0,05);

Окислы азота (NO₂) - не более 0,0026, тёмно-бурый цвет и резкий запах, тяжелее воздуха;

Аммиак - до 0,002, ядовит, резкий запах;

Водород (H₂) - горит и взрывается при концентрации 4-96%. Температура воспламенения на 100-200 градусов ниже, чем у метана;

Компрессорные газы - продукты разложения смазочных масел компрессоров. Для предотвращения их образования необходимо устанавливать фильтры и маслоотстойники.

Наиболее часто встречающаяся в шахтах метано-воздушная смесь взрывается при концентрации метана от 5 до 15 %. Смесь, содержащая до 5 % метана не взрывчата, но может гореть при наличии источника высокой температуры. При концентрации метана более 15 % смесь не взрывчата и не

поддерживает горения, а с притоком кислорода извне горит спокойным пламенем. Наибольшей силы взрыв достигает при концентрации метана 9,5 %, так как в этом случае на его сжигание используется весь кислород воздуха. Температура взрыва метано-воздушной смеси может достигать 2650°C , если взрыв произошел в замкнутом пространстве, и 1850°C , если продукты взрыва могут свободно распространяться.

Метан – горючий газ, почти в два раза легче воздуха, поэтому скапливается в верхней части горных выработок, заполняя пустоты в кровле. Выделение метана бывает обычное, суфлярное и внезапное. Обычное выделение происходит из невидимых пор и трещин в угле по всей обнаженной поверхности. Количество выделяющегося газа зависит от газоносности пластов – количества газа, содержащегося в тонне угля или породы. Газообильность шахт определяется по количеству метана, выделившегося в единицу времени (сутки). Абсолютная газообильность – это объем метана, выделившийся в шахте за сутки. Относительная газообильность – это количество метана, выделившегося в шахте за сутки, отнесенное к 1 т добычи.

Категорийность шахт по газу — разделение угольных шахт по степени опасности их по метану, устанавливаемое по газообильности выработок выемочных участков и шахт в целом.

Угольные шахты по метану подразделяются на следующие категории:

I — до $5 \text{ м}^3/\text{т}$; (количество метана выделяющегося в сутки на 1 т среднесуточной добычи, м^3)

II — $5\text{—}10 \text{ м}^3/\text{т}$;

III — $10\text{—}15 \text{ м}^3/\text{т}$;

IV (сверхкатегорийные) — свыше $15 \text{ м}^3/\text{т}$ или с суфлярными выделениями газа,

V — шахты, разрабатывающие пласты, опасные или угрожаемые по внезапным выбросам угля или газа;

VI — шахты, в которых происходят выбросы породы с выделением метана.

Плановые замеры метана производятся в шахтах негазовых, I и II категорий не менее одного раза в смену, в шахтах III категории — двух раз в смену и в сверхкатегорийных и опасных по внезапным выбросам угля и газа — трех раз в смену. ОАО шахта "Костромовская" относится к V категории опасности по метану.

Причиной взрыва может стать открытый огонь, горячая искра. В старину шахтёры брали с собой в шахту клетку с канарейкой, и пока слышалось пение птицы можно было работать спокойно: в шахте нет метана. Если же канарейка замолкала на долгое время, а еще хуже — навсегда, значит — рядом смерть. В начале XIX века известный химик Х. Дэви изобрел безопасную шахтерскую лампу, затем на смену ей пришло электричество, но взрывы на угольных шахтах продолжались.

Причинами образования взрывоопасной метановоздушной смеси в угольных шахтах являются:

- прекращение вентиляции по организационным и техническим причинам;
- неудовлетворительное состояние вентиляционных трубопроводов;
- перевал выработок;
- неправильный расчет количества требуемого воздуха;
- скопление метана в выработанном пространстве;
- скопление метана в куполах, слоевые скопления;
- выбросы метана;
- неправильность вентиляционных сооружений;
- неправильное разгазирование атмосферы горных выработок.

Источниками теплового импульса воспламенения метановоздушной среды являются:

- взрывные работы при выгорании взрывчатого вещества и применения накладных зарядов;
- неисправное электрооборудование и кабельные сети;

- трение канатов о дерево и полезное ископаемое, конвейерной ленты о барабаны и роlikоопоры;
- фрикционное искрение;
- курение;
- самовозгорание;
- эндогенный пожар;

В настоящее время концентрация метана в рудничной атмосфере контролируется автоматическими системами газовой защиты. Для определения содержания метана и углекислого газа служат переносные приборы интерферометры ШИ-3, ШИ-5, ШИ-7, ШИ-8 ШИ-10 (замеряет до 6 % метана), ШИ-12 (имеет два диапазона измерений метана – до 5 % и до 100 %). Действие приборов основано на измерении величины смещения интерференционной картины вследствие различных показателей преломления воздуха и его смеси с метаном.

Сигнализаторы содержания метана в рудничной атмосфере устанавливаются в индивидуальные светильники и при достижении концентрации метана опасных значений лампы начинают мигать (СМС-4). Световые или звуковые сигналы при достижении заданного уровня содержания метана выдают сигнализаторы СМЗ-1. На газоносных пластах предпринимаются меры по дегазации и изолированному газоотводу. Дегазацией угольных пластов -это совокупность мероприятий, заключающихся в отводе газозвудушных смесей под разряжением по газопроводам на поверхность или в общеисходящую из шахты струю воздуха.

Основным способом поддержания нормального состава воздуха в действующих горных выработках шахт является вентиляция.

Проветривание шахты "Костромовская" осуществляется свежим воздухом, нагнетаемым вентиляторной установкой, подаётся по Вентиляционному наклонному стволу в нижнюю часть горных выработок пласта 19, далее по Восточному путевому уклону поступает к основным подземным потребителям воздуха.

Проветривание выемочного участка 19-12 предусматривается по возвратноточной схеме проветривания с изолированным отводом метана за счет общешахтной депрессии.

Главные вентиляционные установки снабжаются реверсивными устройствами, позволяющими изменить направление движения воздуха на обратное. Реверсирование должно производиться в течение не более 10 мин, а количество воздуха, проходящего через выработки после реверсирования вентилятора, должно быть не менее 60 % от нормального режима. Не реже двух раз в год, а также при изменении схемы проветривания и замене вентиляторов на шахте производится проверочное реверсирование вентиляционной струи в соответствии с планом ликвидации аварий.

7.8 Рудничные пожары

Пожаром является неконтролируемый процесс горения, причиняющий материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства. Рудничными пожары возникают непосредственно в горных выработках (подземных и открытых) и массиве полезного ископаемого, а также на поверхности (надшахтных зданиях, складах полезного ископаемого и т.д.), если существует опасность попадания огня или продуктов горения в горные выработки. Подземными являются пожары, действующие в горных выработках. Опасными факторами пожара являются : открытый огонь, тепловое излучение, искры, разогретый воздух, токсичные продукты горения, дым, пониженная концентрация кислорода, обрушения зданий, сооружений, падающие части строительных конструкций, оборудования. Пожары, осложненные взрывами, приводят к тяжелым социальным и экономическим последствиям. Огромную угрозу для жизни людей представляют пожары, возникающие в шахтах. Из-за несвоевременного ввода средств пожарной защиты в действие, а также низкой эффективности применяемых способов тушения подземные пожары превращаются в грозное бедствие. Они дезорганизуют работу предприятия, обесценивают недра, приводят в негодность оборудование. Под угрозой

оказываются здоровье и жизнь шахтеров, а также горноспасателей, участвующих в ликвидации аварийной ситуации. Выделение тепла, дыма и токсичных газов в ограниченный объем горных выработок делают рудничную атмосферу непригодной для дыхания. Благодаря вентиляции продукты горения, в том числе и токсичные газы, способны быстро распространиться на значительные расстояния от очага пожара. В наклонных и вертикальных выработках под действием тепловой депрессии, развиваемой пожаром, может опрокинуться вентиляционная струя. В шахтах, опасных по выделению горючих газов или пыли, возникает реальная угроза взрыва из-за высокой вероятности воспламенения взрывоопасных скоплений газа и пыли.

Безопасность горных работ и эффективность тушения рудничных пожаров в значительной степени зависит от своевременности их обнаружения. Своевременное выявление начальных признаков пожара позволяет быстро ликвидировать очаг с минимальными экономическими затратами. Одновременно снижается вероятность воздействия на шахтеров и горноспасателей, занятых ликвидацией аварии, опасных и вредных факторов развитого пожара.

Все методы распознавания пожаров можно разделить на 4 группы:

1 – физиологические методы, основанные на обнаружении внешних признаков органами чувств (зрением, обонянием, ощущением и пр.) без специальных приборов и оборудования;

2 – химико-аналитические методы, устанавливающие признаки пожара путем химического анализа рудничного воздуха, рудничной воды на присутствие в них продуктов горения или термического разложения;

3 – минералого-геохимический метод, изучающий пожары по составу горных пород, путем наблюдения за вторичными минералами, образующимися при развитии окислительных процессов;

4 – физические методы предусматривают обнаружение пожаров с помощью приборов по физическим параметрам, зависящим от теплового

состояния среды (температуры рудничного воздуха, воды и горных пород, влажности атмосферы, электрического сопротивления горных пород.

Непрерывный контроль за содержанием газа метана, оксида углерода и скоростью воздуха в горных выработках шахты осуществляет стационарная система «Микон-1Р». В настоящее время существует и целый ряд переносных газоанализаторов рудничного исполнения, способных одновременно контролировать несколько газов.

7.9 Первичные средства пожаротушения в шахте

Первичными средствами пожаротушения в шахте являются: ручные, стационарные и передвижные огнетушители; вода, находящаяся под напором в системе пожарно-оросительного трубопровода; песок или инертная пыль и подручные средства. В надшахтных зданиях и башенных копрах располагаются по семь ручных огнетушителя объемом по 10 л.

Первичные средства пожаротушения (ручные огнетушители объемом 10 л, песок или инертная пыль с лопатами) находятся внутри подземных камер у рабочего места дежурного персонала (от 2 до 7 огнетушителей). В камерах с непостоянным дежурством людей средства пожаротушения располагаются снаружи камер в специальной нише со стороны поступления свежей струи воздуха, не далее 10 м от входа в камеру. Если в камерах расположены центральные электроподстанции с масляным заполнением, то их противопожарную защиту осуществляют и автоматическими противопожарными установками (пенными, порошковыми).

Околоствольный двор снабжается семью огнетушителями. Семь огнетушителей также находится у сопряжения ствола с выработками горизонта. Электровозные гаражи, лебедочные камеры и силовые стационарные маслоагрегаты в камерах должны иметь по 7 огнетушителей и по 0,2 м³ песка или инертной пыли. Камеры подземных холодильных установок необходимо снабдить 7 огнетушителями и 0,4 м³ песка или инертной пыли. Камеры

передвижных компрессоров содержат по 7 огнетушителей и по 0,7 м³ песка или инертной пыли.

По 4 огнетушителя и по 0,2 м³ песка или инертной пыли должны иметь центральные электроподстанции и зарядные камеры, камеры подземных ремонтных мастерских, участковые трансформаторные камеры, электрораспределительные пункты, камеры водоотлива. Склады взрывчатых материалов должны содержать по 4 огнетушителя и по 1 м³ песка или инертной пыли. По 2 огнетушителя и по 0,2 м³ песка или инертной пыли необходимо иметь у передвижных электроподстанций, в распределительных пунктах выработок, оборудованных ленточными конвейерами. Тушение пожаров в шахтах начинают первичными средствами – пенными или порошковыми огнетушителями, песком, водой, а затем по возможности и необходимости вводят более мощные средства. Чтобы в случае развития пожара быстро локализовать его, одновременно с тушением начинают готовить участок к изоляции (подготовка врубов и материалов для сооружения изоляционных перемычек, в первую очередь на путях распространения пожара по выработкам с исходящей струей). Так, после изоляции очага, при снижении концентрации кислорода до 2–5 % горение прекращается.

7.10 Выбросы пород и газа

Внезапный выброс пород и газа – это самопроизвольное мгновенное разрушение части горного массива вблизи забоя горной выработки, которое сопровождается отбросом горных пород и усиленным газовыделением.

Выброс пород и газа происходит под действием скачкообразного перехода упругой энергии предельно напряженного массива и сжатого газа вокруг горной выработки в работу сдвижения, разрушения горных пород, десорбции и фильтрации газа. Причиной выброса могут быть мгновенное вскрытие и обнажение пласта горной выработкой, быстрого внедрения в угольный пласт (при взрывоотбойке, обрушении угля на крутых пластах) или при продвижении забоя вблизи геологических нарушений. Выброс происходит в

форме лавинообразного смещения, дробления горных пород и выноса раздробленной массы в атмосферу горных выработок выделяющимся газом (может быть метан, углекислый газ, азот, водород). Выброс сопровождается сильными звуковыми колебаниями. В массиве горных пород образуется полость, уголь дробится до мельчайшей пыли. Из-за падения давления выделившегося газа может наблюдаться снижение температуры.

Опасность выбросов заключается в возможности травмирования людей выбрасываемой горной породой, образования взрывоопасной концентрации выделившихся горючих газов, снижения концентрации кислорода в зоне выброса, нарушения режима проветривания в горной выработке из-за уменьшения площади ее свободного сечения, выводу из строя угледобывающей техники. Для повышения безопасности рабочих при отработке опасных по внезапным выбросам пластов применяются средства индивидуальной и групповой защиты: шахтные изолирующие самоспасатели; индивидуальные и групповые отводы сжатого воздуха; передвижные спасательные пункты и переносные спасательные аппараты. При работе на шахтах, опасных по выбросам, рабочие обеспечиваются изолирующим самоспасателем со сроком действия 45–50 мин и малогабаритным изолирующим самоспасателем со сроком действия 15–20 мин. На вскрытие, проведение подготовительных выработок и ведение очистных работ на опасных и угрожаемых по внезапным выбросам пластах разрабатывается и пересматривается не реже одного раза в год комплекс мер по борьбе с внезапными выбросами угля (породы) и газа, который должен пройти экспертизу промышленной безопасности. Комплекс мер по борьбе с внезапными выбросами утверждается руководителем организации. На основании принятых мер разрабатываются паспорта вскрытия пласта, а также мероприятия по борьбе с выбросами для включения в паспорт выемочного участка и паспорт крепления выработок.

В случае обнаружения признаков, предшествующих внезапному выбросу, все рабочие и инженерно-технические работники (ИТР) должны выйти из выработки, а электроэнергия должна быть отключена. Все работы

могут возобновляться только по письменному разрешению технического руководителя организации.

7.11 Горные удары

Горные удары – это быстрое разрушение предельно напряженной части массива угля (пород), прилегающей к горной выработке, которое возникает вследствие превращения в кинетическую энергию накопленной в массиве потенциальной энергии упругого сжатия его в очаге горного удара и упругих деформаций вмещающих пород. Горный удар сопровождается выбросом горной породы (угля, соли, руды и др.) в горную выработку, ее разрушением, сильным звуковым эффектом и возникновением мощной ударной волны, что может привести к обрушению и разрушению крепи, смещению оборудования. Заполнение горных выработок выброшенными породами может нарушить вентиляцию, способствовать накоплению горючих газов. Причиной горных ударов является неравномерное распределение напряжений по пласту в ходе ведения горных работ, особенно в очистных выработках. Для безопасного ведения горных работ на пластах, подверженных горным ударам, осуществляют:

- снижение горного давления на угольный пласт путем опережающей отработки защитных пластов;
- снижение удароопасности призабойной части угольного пласта путем созданием защитных зон;
- вскрытие, подготовку и отработку угольных пластов в определенном порядке.

Вскрытие опасных и угрожаемых по горным ударам пластов производят по породам или неопасным пластам. Полевые штреки и квершлагги проводят в разгруженной зоне с отставанием от очистных работ. Подготовка шахтного поля должна обеспечить отработку пластов без оставления целиков. В случае проведения выработок по пластам, опасным по горным ударам, они проводятся широким ходом с выкладкой около выработок бутовых полос.

При обнаружении признаков, предшествующих горному удару, все рабочие и инженерно-технические работники должны выйти из выработки, а электроэнергия должна быть отключена. Все работы могут возобновляться только по письменному разрешению технического руководителя организации.

7.12 Прорывы воды и глины

В процессе эксплуатации шахт возможно проникновение в горные выработки воды, а иногда глины и пульпы, используемых в качестве заилочных материалов. При отсутствии специальных защитных и предупредительных мероприятий и в случае интенсивного поступления жидких составов может произойти затопление горных выработок. Большой приток жидкости в выработки угрожает жизни людей, выводит из строя угледобывающую технику, способствует обрушению горных пород. Источниками поступления воды могут быть поверхностные водоемы, обводненные зоны и затопленные горные выработки. Вода может поступать через незатампонированные геологоразведочные и технические скважины, по трещинам в горных породах, образующимся при просадке пород после выемки полезного ископаемого, а также через возникающие провалы.

Для предупреждения прорыва воды в действующие горные выработки должны предусматриваться следующие меры:

- оставление барьерных целиков между затопленными и действующими выработками, расположенными на одном и том же пласте;
- установление границы безопасного ведения горных работ, оконтуривающей в пласте с затопленными выработками зону возможного прорыва воды;
- оставление предохранительных целиков в пластах, залегающих под или над пластом с затопленными выработками ниже уровня воды в них;
- спуск или откачка воды из затопленных выработок;
- специальный режим ведения горных работ.

Для предотвращения внезапного прорыва воды в действующие выработки следует устанавливать перемычки в подготовительных выработках. Перемычка может быть глухой, если она расположена непосредственно в забое выработки и бурение скважины должно проводиться из-за перемычки. Если перемычка расположена в удалении от забоя, она должна быть оборудована дверями, открывающимися в сторону ожидаемого потока воды.

Для предупреждения прорыва воды в действующие горные выработки с поверхности, провалы, образовавшиеся на земной поверхности вследствие горных разработок, должны быть засыпаны глиной, утрамбованы и оборудованы желобами проложенными по руслу возможного водотока. Вертикальные и наклонные шахтные стволы, шурфы и штольни должны быть расположены таким образом и их устья так оборудованы, чтобы поверхностные воды не могли проникнуть в горные выработки. Пробуренные с поверхности геологоразведочные и технологические скважины должны быть затампонированы густым глинистым раствором, устья скважин могут быть закрыты бетонными, цементными или деревянными пробками с заполнением промежутка между пробками цементным, глинистым, известковым или другими растворами. Разработка участков, опасных по прорывам глины, подработка этих участков нижележащими пластами, а также взрывание камерных и скважинных зарядов в качестве меры предотвращения прорывов глины производятся по паспортам выемочных участков, утвержденных главным инженером шахты и согласованным с территориальным органом Ростехнадзора России.

Если в забое, приближающемся к затопленным или заиленным выработкам, появляются признаки возможного прорыва воды (потение забоя, усиление капежа и др.) или глины (капез, резкое усиление горного давления, деформация изоляционных перемычек, обнаружение глины при разведке за перемычками и др.), а также в случае непосредственного проникновения глины в действующий забой звеньевой (бригадир) или лицо сменного участкового надзора должно немедленно вывести людей из этого забоя и из всех выработок,

находящихся под угрозой затопления, в безопасное место и доложить об этом руководителю участка и горному диспетчеру, который должен поставить в известность технического руководителя шахты и аварийно-спасательную службу.

7.13 Горноспасательное дело

Большое количество опасных факторов, действующих на людей на горных предприятиях, требует соблюдения повышенных мер безопасности. В условиях возникновения аварийных ситуаций обстановка значительно осложняется из-за ограниченного пространства, опасности обрушения кровли, выделения горючих газов и пыли. Нередко рудничная атмосфера становится непригодной для дыхания из-за снижения концентрации кислорода, выделения токсичных газов, на пути движения возникают завалы, резко снижается видимость вследствие дыма, образующегося при горении и взрывах. Для проведения мероприятий по спасению пострадавших и ликвидации аварийной ситуации необходимо специальное оборудование и специалисты, подготовленные для работы в сложных условиях. Согласно правилам безопасности РФ, все шахты должны обслуживаться военизированными горноспасательными частями (ВГСЧ). Персонал ВГСЧ освобожден от работ, не связанных с горноспасательным делом. Одним из направлений деятельности горноспасательных формирований является разработка мер по предупреждению возможных и ликвидации возникших аварий на горных предприятиях. Горноспасательные подразделения обслуживают действующие, строящиеся и ликвидируемые угольные и сланцевые шахты, разрезы, обогатительные и брикетные фабрики независимо от форм собственности.

Горноспасательные формирования – это военизированные подразделения, являющиеся государственными специализированными организациями. Для выполнения горноспасательных работ в начальной стадии аварии, до прибытия ВГСЧ, на каждой шахте организуется вспомогательная горноспасательная служба (ВГС). Для комплектования этой службы

привлекаются опытные горнорабочие подземных специальностей, горные мастера и другие лица надзора, годные по состоянию здоровья к работе в газозащитных респираторах, к физическим и психологическим перегрузкам в экстремальных ситуациях и прошедшие соответствующее обучение. Члены ВГС должны уметь оказывать помощь пострадавшим, тушить пожары, применять имеющиеся на рабочем месте средства ликвидации аварий, оценивать опасные факторы аварийной обстановки, хорошо знать пути выхода из возможных аварийных зон. Члены ВГС, узнав об аварии в нерабочее время, должны прибыть на предприятие в распоряжение руководителя ВГС. Руководитель ВГС действует по указанию ответственного руководителя аварии, а по прибытии ВГСЧ – по указанию руководителя горноспасательных работ. Члены ВГС могут привлекаться для выполнения работ вместе с ВГСЧ в загазированных выработках по доставке материалов, управлению шахтными механизмами, демонтажу оборудования, возведению изолирующих сооружений и др. При этом в формируемом отделении из пяти человек должно быть не более двух членов ВГС.

Главными задачами военизированных горноспасательных частей являются:

1 – выполнение экстренных и неотложных мер по спасению и эвакуации застигнутых аварией людей и оказание пострадавшим медицинской помощи;

2 – локализация и ликвидация аварий, в том числе тушение подземных пожаров и ликвидация последствий взрывов метана и угольной пыли, внезапных выбросов угля и газа, загазирований, обрушений и затоплений (водой, глинистой пульпой и др.) горных выработок;

3 – осуществление на обслуживаемых объектах профилактического контроля за готовностью предприятия к ликвидации аварий и выполнение технических работ (разгазирования горных выработок и др.) неаварийного характера, требующих защиты органов дыхания и применения специального снаряжения;

4 – участие в работах, вытекающих из задач системы предупреждения и действий в чрезвычайных ситуациях. Виды таких работ определяются Свидетельством на право выполнения аварийно-спасательных и других неотложных работ в чрезвычайных ситуациях.

7.14 Экологическая безопасность

Под экологической безопасностью понимают комплекс организационно-технических мер, направленных на защиту окружающей среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной или иной деятельности и угроз возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий. Подземная добыча угля оказывает влияние на окружающую среду, при этом длительно эксплуатируемые шахты характеризуются значительными породными отвалами на поверхности, которые при наличии в них угольной примеси и при доступе кислорода способны к разогреву и самовозгоранию. Основными источниками загрязнения воздушного бассейна при традиционных способах добычи угля являются горящие отвалы, угольные котельные, а также угольные шахты, осуществляющие выбросы попутно извлекаемого метана.

В целях уменьшения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу предприятиями угольной промышленности проводятся мероприятия, направленные на повышение эффективности работы установленного оборудования, осуществляется установка аспирационных систем, реконструкция устаревшего оборудования, увеличение количества утилизированного газа метана для выработки теплоэнергии.

С целью снижения потребления на производственные нужды чистой воды из природных источников разрезами и шахтами широко используется попутно забираемая шахтная вода. С целью более эффективного использования воды и уменьшения объемов сброса сточных вод на предприятиях угольной промышленности проводится ряд мероприятий, в том числе : строительство и ремонт очистных сооружений сточных вод, включая чистку отстойников

сточных вод, замену фильтрующих дамб и реконструкцию насосно-фильтровальных станций, строительство единых водоотводящих очистных сооружений для очистки карьерных и ливневых вод, установку приборов учета сточных вод, строительство зоны санитарной охраны водозабора. С целью снижения объемов накопленных отходов предприятиями угольной промышленности проводятся следующие работы: внедрение установок для очистки отработанных промышленных масел; возмещение затрат на утилизацию твердых бытовых отходов, отработанных моторных масел, черного и цветного металлолома; горно-планировочная и биологическая рекультивация отработанных отвалов; использование золошлаковых отходов для внутришахтных работ.

Компании обязаны проводить мероприятия по рациональному природопользованию и внедрению ресурсосберегающих технологий, обезвреживанию и повторному использованию отходов, очистке сточных вод, проведению рекультивации и восстановительных работ, инвестированию затрат на социальные и экологические программы, на экологический мониторинг, которые позволят уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Однако в большинстве случаев при добыче полезных ископаемых избежать негативного воздействия на окружающую среду не удастся даже при применении наиболее прогрессивных технологий и методов управления производством. Поэтому представляется целесообразным разработать и утвердить национальные стандарты и своды правил в области рекультивации земель, а также порядок производства на горных предприятиях, нормативно закрепить предельные сроки эксплуатации предприятий, установить конкретные способы возмещения причиненного объектам окружающей среды ущерба, урегулировав процедуру восстановления причиненного вреда, рассмотреть вопрос о принятии технологических регламентов.

Безопасность на производственных объектах горного производства должна восприниматься как единое целое, состоящее из промышленной

безопасности, пожарной безопасности, охраны труда и экологической безопасности.

Заключение

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка электропривода шахтного вентилятора ВМЭ-6.

По результатам расчета требуемой мощности вентилятора выбран электродвигатель взрывозащищенного исполнения серии 3ВРМ160М2, произведен расчет его параметров, рассчитаны естественные механические и электромеханические характеристики двигателя.

Проанализирован и выбран наиболее подходящий, для вентиляторной нагрузки вид управления – скалярное управление по закону - U/f^2 . Данный вид управления позволяет получить искусственные механические характеристики с требуемой жесткостью, ему свойственна техническая простота измерения и регулирования абсолютных значений переменных АД.

В ходе работы выбран преобразователь частоты фирмы ВЕСПЕР серии EI-P7012. В программной среде MathCad14 рассчитаны и построены искусственные механические и электромеханические характеристики системы преобразователь частоты - асинхронный двигатель при разных частотах управления. Получено, что при соответствующей корректировки вольт-частотной характеристики, обеспечивается требуемый диапазон регулирования скорости вентилятора 1:10.

Исследование переходных процессов в программе Simulink пакета MatLab проводилось на имитационной модели САУ ЭП вентилятора составленной по функциональной схеме частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением. Переходные процессы в электроприводе протекают плавно с ограничением динамического момента, токов двигателя и преобразователя. Время пуска и электрического торможения электропривода определяется и может быть изменено путём выбора значения постоянной времени задатчика интенсивности скорости.

В разделе производственной и экологической безопасности проведен анализ вредных факторов, рассмотрена техника безопасности,

производственная санитария, пожарная безопасность технологического процесса.

Список использованных источников

1. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о вентиляторах - Режим доступа: http://www.temz.tomsk.ru/price/?section=vent&goods=vme_6&simple=on
2. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о расчете мощности вентилятора - Режим доступа: <http://electrichelp.ru/raschet-moshhnosti-elektrodivigatelya-ventilyatora/>
3. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: Учеб. пособие для вузов. - 2-е изд., доп. – М.: Высш. шк.. 2000. – 255 с., ил.
4. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 354 с.
5. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о частотных преобразователях фирмы ВЕСПЕР - Режим доступа: http://www.vltdrives.com.ua/usersimage/File/files/instructions_MG27A250.pdf
6. Электрический привод: учебно-методическое пособие / А.Ю. Чернышев, С.И. Качин, И.А. Чернышев; Томский политехнический университет, – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 156 с.
7. А.Ю. Чернышев. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 218 с.
8. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г. Соколовский. – М.: Издательский центр "Академия", 2006. – 272 с.
9. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учебное пособие / О. П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин;

Томский политехнический университет. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. – 476 с.

10. Черных И.В. Моделирование электрических устройств в *MATLAB*, *SimPowerSystems* и *Simulink* – СПб. ; М. : Питер : ДМК Пресс, 2008. — 288 с

11. М.В.Суворов. Техничко-экономическое обоснование приминения преобразователей частоты для привода вентилятора. «Экологические системы», №6,2005.

12. Шахтные вентиляторы: Учебное пособие * Единое окно доступа к образовательным ресурсам