

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

---

Институт электронного обучения  
Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)  
Кафедра электропривода и электрооборудования

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Асинхронный электропривод осевого шахтного вентилятора</b>

УДК 62-82-523:622.445

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Холдин Дмитрий Викторович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Глазырин Александр Савельевич	Кандидат технических наук, доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	Кандидат технических наук		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дементьев Юрий Николаевич	Кандидат химических наук, доцент		

Томск – 2017 г.

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

Институт электронного обучения  
 Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)  
 Кафедра электропривода и электрооборудования

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

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Бакалаврской работы</b>
----------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2Б1	Холдину Дмитрию Викторовичу

Тема работы:

<b>Асинхронный электропривод осевого шахтного вентилятора</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3420/с от 16.05.2017 г..

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

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Введение; общие вопросы шахтной вентиляции, краткий обзор основных видов и конструкций шахтных вентиляторов; общие сведения об электроприводе; общие принципы регулирования электропривода, расчет параметров и выбор элементов электропривода шахтного вентилятора; функциональная схема электропривода; разработка и исследование математической модели электропривода социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.

<b>Перечень графического материала</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- схема кинематическая;</li> <li>- схема электрическая принципиальная;</li> <li>-схема электрическая функциональная;</li> <li>- схема электрическая структурная;</li> <li>- демонстрационный лист;</li> <li>- технико-экономические показатели;</li> </ul>
--	---

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко Аркадий Альбертович
Социальная ответственность	Король Ирина Степановна

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Заключение

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	06.03.2017г.
---	--------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Глазырин Александр Савельевич	к.т.н.		06.03.2017г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Холдин Дмитрий Викторович		06.03.2017г.

## Реферат

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

Данная работа содержит 115 страниц текста, 42 рисунка, 20 таблицу, а также 44 использованных источников литературы.

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

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

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. ШАХТНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ.....	10
1.1. Общие сведения о вентиляции .....	10
1.2. Вентиляция в шахтах.....	12
1.3. Требования по проветриванию подземных выработок.....	13
1.4. Типы и требования к шахтным вентиляторам.....	17
2. ЭЛЕКТРОПРИВОД ВЕНТИЛЯТОРА .....	24
2.1. Способы управления воздушным потоком.....	24
2.2. Регулирование частоты вращения АД.....	26
2.2.1. Частотное регулирование.....	27
2.3. Функциональная схема электропривода вентилятора .....	29
3. ВЫБОР И РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	31
3.1. Вентилятор осевой шахтный ВМЭ - 8.....	31
3.2. Выбор и определение параметров электродвигателя.....	34
3.2.1. Механические и электромеханические характеристики АД.....	41
3.2.2. Исследование АД с вентиляторной нагрузкой .....	45
3.2.3. Математическое описание асинхронного двигателя .....	47
3.2.4. Структурная схема АД с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат с вентиляторной нагрузкой .....	52
4. ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	55
4.1. Выбор преобразователя частоты .....	55
4.2. Выбор закона частотного регулирования .....	59
4.2.1. Механические характеристики системы преобразователь - двигатель при законе $U/f^2=\text{const}$ .....	60
4.2.2. Имитационная модель АД при законе частотного регулирования $U/f^2=\text{const}$ .....	64
4.2.3. Имитационная модель АД при настройке вольт – частотной характеристики .....	67

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ».....	70
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	71
5.1 SWOT-анализ технического проекта .....	72
5.2. Разработка графика проведения работ технического проекта .....	75
5.3 Составление сметы технического проекта .....	80
5.4 Определение ресурсоэффективности проекта .....	83
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	86
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	88
5.1 Анализ вредных производственных факторов.....	90
5.2 Техника безопасности.....	97
5.3 Производственная санитария.....	98
5.4 Пожарная безопасность.....	99
5.5 Охрана окружающей среды.....	100
5.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	103
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	105
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	106
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	110

## Введение

Количество энергозатрат в себестоимости продукции и сфере услуг в России составляет вплоть до 20–30%, что намного больше, нежели в странах с развитой рыночной экономикой. Одной из основных причин такого положения являются применяемые энергорасточительные технологии, средства и аппараты. Согласно оценкам экспертов, введение энергосберегающих технологий и оборудования способствует снижению потребностей в энергоресурсах никак не меньше нежели на 30–40%. Мировая и отечественная инженерная действительность показала, значительный максимальный (народно)хозяйственный результат при реализации программ энергосбережения дает переоборудование энергетических сетей и коммуникаций устройствами регулируемого электропривода.

Согласно оценке специалистов, в целом по стране введение регулируемого электропривода в энергетике, промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве и других отраслях может предоставить ежегодную экономию 35–40 млрд. кВт·ч. электроэнергии, что же равнозначно ежегодной выработке 30 энергоблоков мощностью по 300 МВт и тот и другой.

В промышленно развитых странах (и в России также) поблизости 2/3 общем объеме потребляемой электроэнергии используется с целью механической работы, выполняемой электроприводом. Преимущественно повсюду в отраслях промышленности и коммунального хозяйства используются электроприводы в базе асинхронных электродвигателей. В их долю требуется 55–60% всей потребляемой энергии.

В текущий день угольная индустрия России, в процессе идущих преобразований имеет устойчивую тенденцию к повышению эффективности производства, а степень добычи угля соответствует потребностям страны. Только лишь за последние 5 – 6 лет отмечается значительный прирост добычи угля и постепенное усовершенствование и модернизирование технического оснащения угледобывающих предприятий. Невозможно сообщить, что же

техническое переоборудование шахт в корне изменилось, ▾ базовые модели оборудования 60-х годов достаточно наглядно просматриваются в современных конструкциях взрывозащищенного оборудования. Большой долей это связано со взрывозащищенным оборудованием, относящимся к типу «ExdI» – «взрывонепроницаемая оболочка». Фактические величины конструкции взрывонепроницаемой оболочки остаются неизменными уж больше полувека. Между тем, из-за итог улучшения технологических процессов производства, применения новых материалов и оборудования удается извлечь больше надежное и качественное техническое оснащение.

В горнодобывающей промышленности первостепенным требованием является надёжность. Первопричиной сего запросы служит существование в угольных пластах сопутствующего газа – метана. Взрывоопасная скопление метана в воздухе составляет 3%. В условиях шахты, в отсутствии естественной циркуляции воздуха, взрывоопасная сосредоточение метана в воздухе значительно превышает разрешенный степень взрывобезопасности.

Основным способом достижения взрывобезопасности в шахтах и горных выработках, опасных соответственно газу и пыли, служит поддержание атмосферы по-под землей в уровне поменьше 1-го % содержания метана, через искусственного нагнетательного проветривания. Исторически сложилось, в время Министерства угольной промышленности и Госплана, было положено название вентиляторов местного проветривания – ВМЭ. В начале выработки угольного пласта размер(ы) длин и сечения ветвей вентиляции малы. Потому размер применяемых в этом случае вентиляторов местного проветривания невелики. Не имеется необходимости в большущий подаче и давлении воздуха. Согласно мере выработки угольного пласта длины и сечения ветвей вентиляции увеличиваются. Однако сие ведет к необходимости увеличения объема подачи и давления воздуха в вентиляционную систему в целом, и в каждую отдельно взятую ее ответвление. В связи с сим в основном вентиляционном туннеле производят замену вентиляторов местного проветривания больше мощными. Оценивая в

целом этапы прохождения выработки через введение и вплоть до завершения заметно, точно нуждаться поэтапное использование всё-таки больше мощных, а значит, и больше дорогих вентиляторов. Плюс, надобность в монтаже или демонтаже и в пусконаладочных работах, являющихся в условиях шахты очень затруднительными. Как бы положение, в шахтах, при необходимости замены вентилятора в больше сильный, устанавливают вентилятор, имеющий большие, соответственно сравнению с требуемыми, в тот этап, величина давления и подачи. А сие и максимальный потребление электроэнергии, и осложнение условий работы людей в забое.

Анализируя весь сии факторы, тормозящие добычу угля и делающие ее больше затратной в соответствии с себестоимости, приходим к выводу о необходимости разработки регулируемого энергосберегающего осевого вентилятора местного проветривания, способного функционально предоставить необходимые напор и подачу воздуха в забой для во всем его продвижении.

# 1. ШАХТНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

## 1.1. Общие сведения о вентиляции

Выражение вентиляция в переводе с латинского языка означает «проветривание». Подкреплять в помещении определенную смесь и накопления воздуха, а в свой черед гарантировать состояние необходимые с целью комфортного проживания людей и успешного протекания технологических процессов, должна вентиляция. Вентиляция – природный или искусственный регулируемый воздухообмен в помещениях, обеспечивающий образование в помещении воздушной среды в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями.

Воздухообменом называется частичная или полная замена воздуха, содержащего вредности, чистым атмосферным воздухом. С целью определения требуемого воздухообмена должны существовать известные следующие исходные сведения: величина выделяемых вредностей (тепла, влаги, газов и паров, пыли и т. д.) в течение определенного периода времени, так вслед за 1 час; допустимое величина вредностей в определенном объеме воздуха, в частности в 1 м<sup>3</sup> воздуха помещения; величина вредностей, содержащихся в определенном объеме, в частности в 1 м<sup>3</sup>, подаваемого в место воздуха.

В видах жилых и общественных зданий установить воздухообмен, исходя из содержания в воздухе углекислого газа CO<sub>2</sub>, никак не тяжело, потому установлено количество людей, пребывающих в помещении. Гораздо сложнее установить воздухообмен в соответствии с газовой вредности на производственных помещениях, таким образом как бы величина выделяющихся в них газов зависит через технологического процесса, характера производственного оборудования и степени его герметизации. С целью определения количества газовой вредности пользуются теоретическими расчетами или проверенными экспериментальными

данными, в некоторых случаях требуется устанавливать с целью сего специальные опыты.

В предпочтении через жилых и общественных зданий в производственных зданиях источники, выделяющие и поглощающие жар очень разнообразны. Сие вызывает надобность образовывать в соответствии с производственным помещениям тепловые балансы, т. е. обнаруживать весь виды расхода и прихода тепла.

Рассмотрим основные источники расхода и прихода тепла:

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

В помещениях производственных добавочными источниками тепловыделений быть могут:

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

При разработке системы вентиляции в первую определяют ее вид. Классифицирование типов вентиляционных систем производится в основе следующих основных признаков :

В соответствии с способу перемещения воздуха: естественная или искусственная конструкция вентиляции.

В соответствии с назначению: приточная или вытяжная конструкция вентиляции.

В соответствии с зоне обслуживания: местная или общеобменная конструкция вентиляции

В соответствии с конструкции: наборная или моноблочная конструкция вентиляции.

## **1.2. Вентиляция в шахтах**

Вентиляционные сети шахт представляют собою множество большого количества подземных выработок, отличающихся разнообразием параметров, влияющих в аэродинамику сих сетей. Сии величина непрерывно меняются, следственно, меняется и аэродинамика сетей.

Выработки могут обладать различную форму поперечного сечения, размер(ы) сего сечения колеблется в пределах с 3,0...4,0 по 30,0...40,0 м<sup>2</sup>. В больших пределах колеблется и протяжённость выработок, доходя порой вплоть до нескольких тысяч метров.

Уровень шероховатости стенок выработок, влияющая в величину аэродинамического сопротивления, зависит ото типа и размеров крепи выработок и также меняется в широких пределах.

Потребители воздуха в шахте отличаются большим разнообразием, как бы согласно количеству необходимого воздуха, где-то и согласно времени его подачи. В качестве потребителя может участвовать отдельная проходка, где-то и все выработка или значительная ее доля.

Данные условия привели к необходимости создания группы специализированных шахтных вентиляторов, отвечающих в соответствии с своим параметрам запросам горной отрасли.

Вентилятором называется механическая устройство, создающая различие давлений в входе в вентиляционную сеть и выходе из нее.

Главное различие шахтных вентиляторов ото вентиляторов, применяющихся в других отраслях промышленности – большая продуктивность быть достаточно высоких параметрах в соответствии с давлению. Продуктивность сих вентиляторов может граничить вплоть до 500...600 м<sup>3</sup>/с, значение разности давления, которое создается

вентиляторами шахтными, ограничивается значением 0,5...10,0 кПа. Уровень сжатия атмосферного воздуха вентилятором – 1,1. Сие позволяет исчислять атмосфера несжимаемым в общих расчетах, которые связанные с работой вентилятора.

В соответствии с своему определению вентиляторы шахтные можно подразделить условно в три группы:

- • главные вентиляторы, которые обслуживают вентиляционную линия буквально всей шахты или же большей ее части шахты (изображение 1);
- • вентиляторы вспомогательные, которые обслуживают в большинстве своем значительную отделение шахтной вентиляционной сети или же работающие совместно с главным;
- • вентиляторы местного проветривания (ВМП), которые обеспечивающие атмосферным воздухом забой индивидуальный, или же выработку или же помещение рабочее.

В качестве вспомогательных и главных могут применяться одни и те а вентиляторы существенных габаритов. ВМП составляют определенно отдельную группу вентиляторов, которые отличающихся незначительными габаритами, небольшой мощностью привода и, как бы обыкновение, небольшой производительностью [2].



Рисунок 1 – Вентилятор главного проветривания ВОД30М2

### 1.3. Требования по проветриванию подземных выработок

Содержимое кислорода в воздухе выработок, в которых находятся или могут состоять человеки, должен равняться никак не меньше 20 % (в соответствии с объемом). Содержимое углекислого газа в рудничном воздухе никак не должен превосходить в рабочих местах 0,5 %, в выработках с общей исходящей струей шахты – 0,75 %, а быть в проведении и восстановлении выработок в соответствии с завалу – 1 %. Суммарное содержимое горючих газов метана и водорода в выработках никак не должен превосходить 0,5 % в соответствии с объемом (10 % – нижней концентрации предела взрываемости) (ниже – НКПР) [3].

Атмосфера в действующих подземных выработках никак не надо вмещать ядовитых газов (паров) значительно очень допустимой концентрации, указанной в таблице 1.

Таблица 1 – Предельно допустимые концентрации газов (ядов).

Наименование ядовитых газов (паров)	Формула	ПДК газа	
		% по объему	мг/м <sup>3</sup>
Окись углерода (оксид углерода)	CO	0,0017	20
Окислы азота (оксиды азота) в пересчете на NO	NO <sub>2</sub>	0,00026	5
Сернистый газ (диоксид серы, сернистый ангидрид)	SO <sub>2</sub>	0,00038	10
Сероводород	H <sub>2</sub> S	0,00071	10
Акролеин	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O	0,000009	0,2
Формальдегид	CH <sub>2</sub> O	0,00004	0,5
Ртуть металлическая	Hg	—	0,01

*Примечание.* 1 м<sup>3</sup> принимается эквивалентным 2 м<sup>3</sup> метана.

Строение проветривания и величина воздуха, необходимого на проветривания отдельных выработок и шахт в целом, должны формироваться к каждого месторождения в соответствии с специальными методиками, согласованных с Госгортехнадзором России или, в соответствии с его разрешению, с территориальными органами.

Постоянно шахты должны обладать искусственную вентиляцию. Вентиляция подземных горных выработок всего только вслед за результат естественной тяги никак не разрешено.

Всегда выработки должны выветриваться активной струей воздуха, из-за исключением тупиков, длиной вплоть до 10 м, проветриваемых из-за результат диффузии.

Вентиляционные устройства должны гарантировать максимальную непроницаемость быть любых режимах проветривания. Их структура должна исключать вероятность разгерметизации и короткого замыкания вентиляционных струй. В выработках, соединяющих воздухоподающие и вентиляционные стволы, должны становиться каменные, бетонные или остальные перемычки, выполненные из негорючих материалов. Воспрещено использовать горючие материалы быть сооружениях кроссингов.

Подземные выработки должны выветриваться только лишь непрерывно действующими вентиляторами главного проветривания и вспомогательными вентиляторами главного проветривания, установленных в поверхности или в соответствии с проекту, согласованному с Госгортехнадзором России, по-под землей.

Вентиляторная устройство для того проветривания быть проходке ствола должна составлять установлена в поверхности в расстоянии никак не меньше 15 м ото ствола. Система проветривания определяется проектом организации работ.

Путь проветривания шахт может существовать нагнетательным, всасывающим или нагнетательно – всасывающим.

Главные вентиляторные установки должны быть из двух самостоятельных вентиляторных агрегатов, притом единственный из них запасной. Вентиляторы к новым и реконструируемым установкам вынужден существовать одного как и размера.

Главные и вспомогательные вентиляторные установки главного проветривания должны оглядываться посуточно работниками, назначенными главным механиком шахты; понедельно главным механиком и начальником пылевентиляционной службы шахты.

Устройство вентиляторов местного проветривания (ВМП) в тупиковых выработках быть любом угле наклона выработки должна вырабатываться в соответствии с проекту, утвержденному главным инженером шахты. Быть этом эффективность ВМП никак не должна превосходить 70 % количества воздуха, подаваемого к его всосу из-за результат общешахтной депрессии; ВМП необходимо становиться в расстоянии никак не меньше 10 м ото выхода исходящей струи, а интервал ото конца нагнетательного трубопровода до самого забоя или после пульта управления комбайном (быть проходе выработок комбайнами) никак не должен превосходить 10 м.

Быть проходке восстающих выработок запрещено отделение вентиляционного трубопровода ото забоя сверх 6 м.

Быть проходке восстающих с использованием механизированных комплексов и проветривании забоя воздушно – водокольцевой смесью должен быть надежно устранение исходящей струи из забоя с через отсасывающего вентилятора местного проветривания.

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

В соответствии с согласованию с территориальными органами Госгортехнадзора России позволяет оборудование ВМП в тупиковой части выработки или распределение вентиляторов в соответствии с ее длине.

В каждой шахте должны существовать в наличии вентиляционные планы, разработанные в установленном порядке.

Ежемесячно должны выработываться:

- замеры количества воздуха, поступающего в соответствии с горизонтам, крыльям, залежам, блокам, участкам, панелям и т.д., с сопоставлением замерных и расчетных величин; помимо того, замеры должны выработываться быть каждом значительном изменении режимов проветривания;

- контроль проб в устройство качественного состава воздуха в всех рабочих зонах, связанных с нарушением сплошности массива;

#### **1.4. Типы и требования к шахтным вентиляторам**

По сию пору выпускающиеся с целью горной отрасли вентиляторы относятся в соответствии с конструкции к этак называемым «лопастным нагнетателям». В вентиляторах сего как мощность вращающегося ротора преобразовывается в потенциальную и кинетическую, в свою черед, сообщаемые перемещаемому воздуху.

Лопастные вентиляторы в соответствии с характером движения воздуха в них и конституция ротора (рабочего колеса) подразделяются в осевые (изображение 2) и радиальные, последние больше известны равно как центробежные (изображение 3).

- Совершенства осевых вентиляторов:
- относительная элементарность конструкции;
- элементарность монтажа, меньшая зона по-под установку;
- элементарность реверса воздушной струи (подавляющая современных осевых вентиляторов весь никак не нуждаются в устройстве реверсивных каналов);
- сравнительно высокая продуктивность;
- больше большой показатель полезного действия;

- практичность применения вентиляторов сего как в качестве передвижных ВМП.

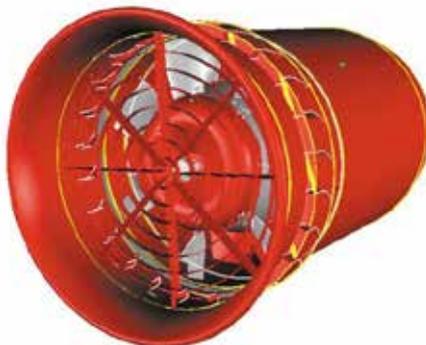


Рисунок 2 – Вентилятор ВМЭ – 6 осевого типа

- Совершенства центробежных вентиляторов:
  - высокая механическая прочность и большой период службы, связанные с применением больше низких скоростей вращения рабочего колеса;
  - высокая живучесть и прочность рабочих режимов, связанные с видом характеристик сих вентиляторов;
  - меньшая шумность быть работе;
  - сравнительно высокая понижение;
  - большая углубленность регулирования;
  - меньшая восприимчивость к загрязненному воздуху.



Рисунок 3 – Вентилятор центробежный ВЦ-15

Основным способом проветривания тупиковых выработок является напорный. К достоинствам данного способа проветривания надлежит отнести то, что вентиляция призабойного пространства осуществляется активной струей свежего воздуха, выходящего из трубопровода с значительной скоростью. Вдобавок, посредством ВМП достаточно поступать в выработку свежий воздух, а утечки его через стенки воздухопровода будут гарантировать разведение метана, выделяющегося с обнаженных поверхностей в выработке. Должно обозначить, что же около протяженности существующих выработок вплоть до 2000 м существует необходимость контроля утечек воздуха, таково как бы оптическое наблюдение за состоянием трубопровода затруднено [2].



Рисунок 4 – Полный типоразмерный ряд ВМП

При проветривании тупиковых выработок с через ВМП они должны работать непрерывно – свежий воздух распространяется в газовые и негазовые шахты. С целью предупреждения повторного засасывания с через ВМП исходящего из тупиковой выработки воздуха (режим рециркуляции) и предотвращения накопления в ней метана (загазования) вентилятор устанавливают в

выработке, проветриваемой общешахтным вентилятором, никак не ближе 10 метров ото устья проходимой тупиковой выработки. Рядом этом приток ВМП никак не должна превосходить 70 % расхода воздуха в выработке в месте его установки, что-то обеспечит подсвежение исходящего потока воздуха из тупиковой выработки в соответствии с участку выработки средь ВМП и устьем тупиковой выработки около средней скорости движения воздуха никак не поменьше 0,15 м/с. С целью повышения надежности проветривания тупиковых выработок одинаково с действующим устанавливается запасной ВМП с резервным питанием. Исполнение сих требований обеспечит безопасную работу ВМП .

### Вентилятор ВМЭ-12А

Вентилятор осевой регулируемый ВМЭ-12А (изображение 5) предназначен для того проветривания горизонтальных и наклонных тупиковых горных выработок и вертикальных стволов диаметром вплоть до 6м. Применяется в свою очередь около проходке тоннелей и штолен. Взрывобезопасное выполнение сих вентиляторов (РВ) обеспечивает осуществимость эксплуатации их в шахтах, опасных в соответствии с газу и пыли. Рассчитан в работу с жесткими (металлическими) воздуховодами диаметром 1000...1200мм .



Рисунок 5 – Вентилятор ВМЭ -12 А

Отличительные особенности:

- современная аэродинамическая установка с меридиональным ускорением потока, обеспечивающая больше большой Эффективность и экономичность работы;
- противосрывное исполнение, которое устраняет помпажные режимы работы, расширяет круг промышленного использования вентилятора и обеспечивает высокую прочность;
- простое и надежное регулировка режимов работы сменными венцами рабочего колеса;
- облегченное рабочее маховик, увеличивающее живучесть и стойкость работы двигателя и вентилятора;
- оригинальное соединение сменных венцов поворотными клиновыми зажимами, исключая резбовые детали, которые подвержены коррозии;
- надежность работы, простота обслуживания и доступа ко во всем частям вентилятора;
- невысокий высота шума вследствие применению оригинального спрямляющего аппарата;
- практичность транспортировки по части выработкам в салазках.

Параметры вентилятора ВМЭ-12 А приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры вентилятора ВМЭ-12 А

Номинальный диаметр рабочего колеса, мм	1200
Номинальная подача, м <sup>3</sup> /с	21
Подача в пределах рабочей области, м <sup>3</sup> /с:	
- минимальная	10
- максимальная	30
Номинальное полное давление, Па	2600
Полное давление в пределах рабочей области, Па:	
- минимальное	800
- максимальное	2000
Максимальный полный КПД, не менее	0,72
Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	1480
Мощность электропривода, кВт	1100
Габаритные размеры, мм:	
- длина	2280
- ширина	1350
- высота	1750
Масса вентилятора, кг, не более	2200

### Вентилятор ВМЭ2-10

Вентиляторное устройство ВМЭ2-10 (изображение 6) предназначен с целью нагнетательного проветривания подземных тупиковых выработок в соответствии с гибким или жестким вентиляционным трубопроводам в шахтах, опасных в соответствии с газу и пыли, а да ради проветривания туннелей. Обеспечивает эффективное вентилирование выработок сечением вплоть до 20м<sup>2</sup>, протяженностью вплоть до 2000м.



Рисунок 6 – Вентилятор ВМЭ2-10

Устройство осевого рабочего колеса с меридиональным ускорением потока в сочетании с противосрывным устройством обеспечивает высокие аэродинамические данные вентилятора: устойчивую напорную характеристику в широком диапазоне подачи воздуха, большой полезное действие быть хороших шумовых характеристиках.

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

Размер вентилятора ВМЭ2-10 приведены в табл. 1.3.

Таблица 3 – Параметры вентилятора ВМЭ2-10

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

## Вентилятор ВМЭВО – 7.1 А

Вентилятор шахтовый местного проветривания ВМЭВО – 7.1 А (изображение 7) продольный со встроенным взрывозащищенным электродвигателем предназначен к проветривания тупиковых горных выработок в угольных и рудных шахтах, включая опасные в соответствии с газу и пыли, с помощью подачи воздуха в соответствии с гибкому или жесткому трубопроводу, главным образом, диаметром 1,0м и длиной вплоть до 2500м, а да может существовать использован к трубопроводов 0,8м быть длинах вплоть до 1500м. Применяется в свою очередь для проходке тоннелей и штолен .



Рисунок 7 – Вентилятор ВМЭВО-7.1 А

Таблица 4 – Параметры вентилятора ВМЭВО-7.1 А

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

## **2. ЭЛЕКТРОПРИВОД ВЕНТИЛЯТОРОВ**

### **2.1. Способы управления воздушным потоком**

Специфика горного предприятия предполагает постоянные вариации его параметров аэрологического характера. В обычно работающей шахте всегда меняется количество очистных и проходческих забоев, отрабатываются вскрытые и вскрываются новые пласты и рудные тела, изменяется углубленность разработок, изменяется газообильность выработок (чаще в итоге в сторону увеличения), изменяется методика и некоторые величины. Всегда это приводит к необходимости изменения количества воздуха, поступающего в шахту. Последнее, определенно, вызывает необходимость изменения производительности вентилятора, т.е. к регулировке его режима. Необходимость в регулировании вентилятора может сложиться при кардинальном изменении исходных параметров, связанном с появлением в шахте новых горизонтов, новых участков или воздействии других важных факторов – такие изменения происходят в предприятии никак не неоднократно и, как бы закон, успешно прогнозируются. Сезонные изменения режимов вентилятора чаще всего возникают в отношении с необходимостью компенсации изменений естественной тяги. Текущие регулировки режимов вентилятора предусматривают необходимость регулирования в соотношении с проведением некоторых технологических процессов (взрывные работы, участок машин с ДВС, сбой в схеме вентиляции шахты и т.п.). Наилучшим вариантом текущего регулирования является полная автоматизация системы вентиляции горного предприятия.

В условиях эксплуатации зачастую необходимо, чтобы оборудование обеспечивало такой режим работы, какой нельзя унаследовать с помощью характеристик, соответствующей фиксированным углам установки лопастей вентилятора и принятой частоте вращения рабочего колеса. В этих условиях выполняется регулировка вентилятора одним из следующих способов:

- модификация частоты вращения лопастного колеса;
- вращение лопастей рабочего колеса;
- вращение лопаток входного направляющего аппарата;
- дросселирование.

Крайний порядок регулирования, самый неэкономичный, так как бы расходы мощности недостаточно изменяются быть уменьшению подачи.

Использование способа регулирования поворотом лопастей рабочего колеса определяется двумя факторами: безопасностью работы и экономичностью (быть параллельном включении учитывается как и живучесть работы).

Вентиляторы с поворотными лопастями колес обладают способностью значительной (вплоть до 50%) регулировки подачи, с сохранением быть этом оптимального значения Полезное действие. Всё же быть этом способе регулирования необходимо вентилятор особой конструкции, позволяющей преобразовывать в известных пределах угол установки лопастей его рабочего колеса. По существу модификация угла поворота происходит в диапазоне с 15 по 45°.

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

Управление поворотом лопаток направляющего аппарата является достаточно эффективным способом регулирования, так (как) будто быть этом достигается значительное перемена потребляемой вентилятором мощности. Сим пользуются быть запуске в работу больших вентиляторов. Всё же нужно обозначить, сколько использование сего способа регулирования оправдано только лишь быть хватит больших углах установки лопастей рабочего колеса (больше 30°). Быть малых углах установки модификация характеристик давления нагнетателей малосущественно и результат регулирования подачи сильно снижается.

Регулировка поворотом лопаток спрямляющего аппарата (СА) никак не рекомендуется, так (как) будто оно сводится к простому дросселированию и никак не влияет в энергия нагнетателя.

Дросселирование — повсюду распространен, однако самый неэкономичный приём регулирования вентиляторов, заключающийся в искусств, введении в сеть дополнительного сопротивления (шибера или др.). Около этом противодействие сети увеличивается, потому оценка ее становится сильнее крутой и рабочая точка вентилятора передвигается из положения А по характеристике вентилятора влево вверх, определяя новые значения параметров — положения Б и В и т.д. Дросселирование уменьшает мощность в валу электродвигателя и с с тем повышает долю энергии, расходуемой около регулировании вентиляторов (бесполезные убыток давления в шиборе АРт). Чем глубже движение регулирования вентиляторов, тем сильнее непроизводительна потребление мощности.

Никак не постоянно удается достичь необходимого диапазона регулирования после расчёт применения исключительно механических мер — изменением угла наклона лопаток или числом лопаток. В таких случаях использование преобразователей частоты помогает уменьшать расходы никак не только лишь в электроэнергию, однако и в содержание механического оборудования [7].

## 2.2. Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя

Проанализируем вероятные способы регулирования скорости асинхронных моторов. Темп мотора определяется двумя параметрами: скольжением  $s$  и скоростью вращения электромагнитного поля статора  $\omega_0$ :

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

Исходя из (1) принципиально возможны два способа регулирования скорости: управление скорости вращения поля статора и управление скольжения быть постоянной величине  $\omega_0$ .

Обороты вращения поля статора определяется двумя параметрами: частотой напряжения, подводимого к обмоткам статора  $f_1$ , и количеством пар полюсов двигателя  $p$ . В соответствии с сим возможны два способа регулирования скорости: перемена частоты питающего напряжения путем преобразователей частоты, включаемых в схема статора двигателя (частотное управление), и через изменения числа пар полюсов двигателя.

Принципиальная достижимость регулирования круговой скорости асинхронного двигателя изменением частоты питающего напряжения вытекает из формулы  $\omega = 2\pi f_1 (1 - s)/p$ . Быть регулировании частоты в свою очередь возникает нужда регулирования амплитуды напряжения источника, который надлежит из выражения  $U_1 \approx E_1 = k\Phi f_1$ . Даже если быть неизменном напряжении преобразовывать частоту, в таком случае много короче переменяться наоборот пропорционально частоте. Этак, быть уменьшении частоты огромное количество возрастет, и сие приведет к насыщению стали механизмы и как бы последствие к резкому увеличению тока и превышению температуры двигателя; быть увеличении частоты огромное количество достаточно сокращаться и как бы последствие короче убывать предполагаемый мгновение.

К наилучшего использования асинхронного двигателя быть регулировании круговой скорости изменением частоты должен управлять напряжение сразу в функции частоты и нагрузки, который реализуемо только лишь в замкнутых системах электропривода. В разомкнутых системах напряжение регулируется лишь только в функции частоты в соответствии с некоторому закону, зависящему от вида нагрузки.

Частотное управление круговой скорости электроприводов переменного тока с двигателями с короткозамкнутым ротором находит весь большее употребление в различных отраслях техники. Пример, в установках текстильной промышленности, идеже с через одного преобразователя частоты, питающего группу асинхронных двигателей, находящихся в

одинаковых условиях, размеренно и сразу регулируются их угловые скорости. Примером иной установки с частотно-регулируемыми асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором могут работать транспортные рольганги в металлургической промышленности, кое-какие конвейеры и др.

Быть изменении частоты вращения вентилятора, работающего в заданной сети, действующий работа вентилятора смещается по характеристики сети. В соответствии с формулами быть изменении частоты вращения в  $m$  крат, эффективность вентилятора изменится в  $m$  крат, создаваемое напор - в  $m^2$  крат, потребляемая объём производства - в  $m^3$  крат. Полезное действие вентилятора остается неизменным (изображение 12). Заданный образ регулирования является особо экономически выгодным.

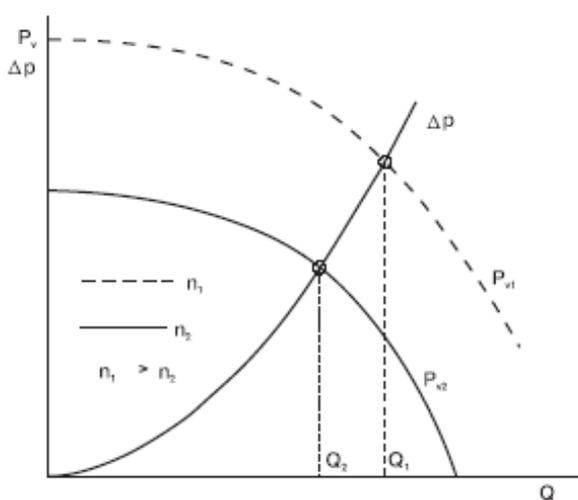


Рисунок 12 – рабочий режим вентиляторной установки

Преобразователи частоты допускается разбить в электромашинные и вентильные. В свою очередь электромашинные преобразователи могут существовать выполнены с промежуточным звеном постоянного тока и непосредственной связью. В последних используют коллекторную машину переменного тока, в ввод которой подают переменное усилие с постоянной частотой и амплитудой, а на выходе ее получают напряжение с регулируемой частотой и амплитудой. Электромашинные преобразователи с непосредственной связью практического применения никак не получили.

Основными достоинствами системы частотного регулирования электропривода являются:

- размеренность регулирования и высокая твердость механических характеристик, который позволяет управлять обороты в широком диапазоне;
- экономичность регулирования, определяемая тем, который мотор работает с малыми величинами абсолютного скольжения, и утечки в двигателе никак не превышают номинальных.

Недостатками частотного регулирования являются трудность и высокая цена (особенно к приводов огромный мощности) преобразователей частоты и трудность реализации в большинстве схем режима рекуперативного торможения.

### **2.3. Функциональная схема ЭП вентилятора**

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

Нужный интервал регулирования скорости к вентиляторов как правило никак не превышает 2:1. Больше глубокое управление используется иногда, если бы принимать во внимание кубическую зависимость потребляемой мощности от частоты вращения.

Перечисленным требованиям в особенности довольно соответствует частотно-регулируемый асинхронный электропривод вентилятора. Быть этом, как бы закон, разрешается ограничиться использованием простых и недорогих систем частотного регулирования. Функциональная диаграмма частотно-регулируемого электропривода приведена в рисунке 13.

С целью обеспечения требуемого момента в период пуска должна существовать предусмотрена достижимость настройки вольт – частотной и регулирования времени разгона и торможения. Определяя величина вольт – частотной характеристики, нижним частотам ставят в соотношении значения напряжений выше, чем при выбранном законе регулирования. Регулировка времени разгона/торможения достигается применением задатчика интенсивности.

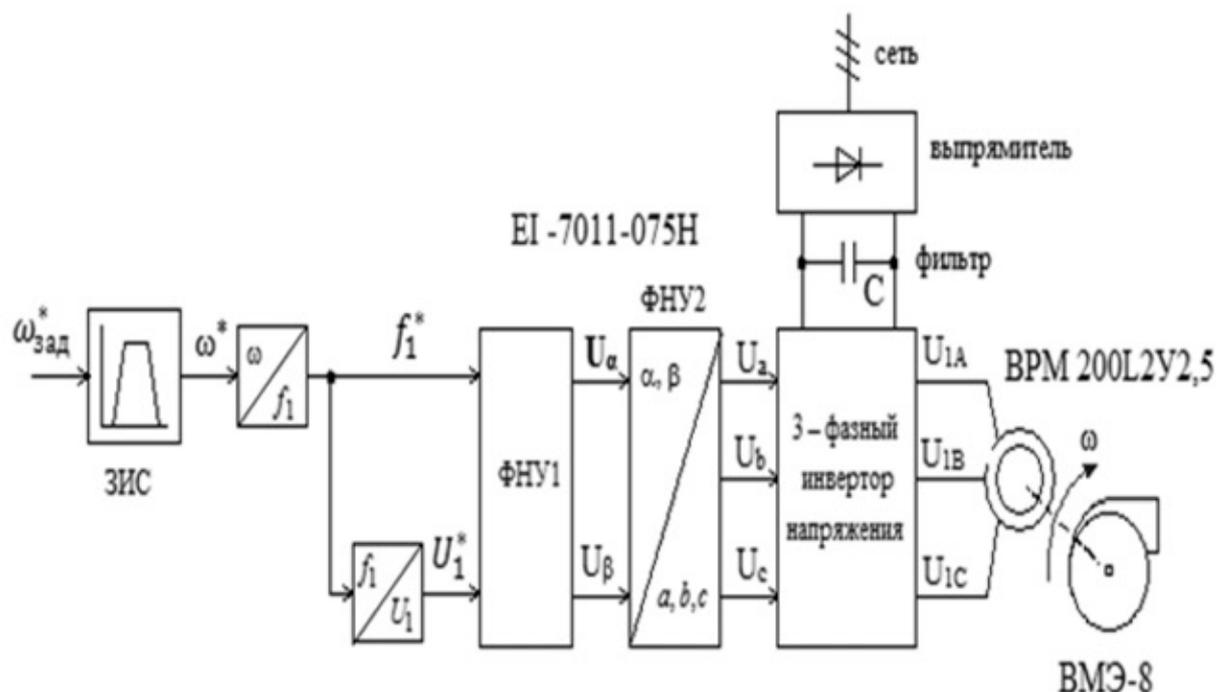


Рисунок 13 – Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

В структура электропривода помещаются: преобразователь частоты VLT 2855, асинхронный мотор с короткозамкнутым ротором 4A112M4 и радиальный вентилятора низкого давления ВР 80-75-6,3. Настраечными параметрами электропривода являются: величина задатчика интенсивности скорости (ЗИС) и вид, значимость наибольшей частоты преобразователя , правило регулирования и корректирование вольт-частотной характеристики.

### 3. ВЫБОР И РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

#### 3.1. Вентилятор осевой шахтный ВМЭ-8

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

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

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

#### **Достоинства:**

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

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

Лопатки вентилятора выполнены из негорючих материалов.

Возможность отключения вентилятора при превышении нормальной температуры.

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

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

Простое и надежное регулирование режимов работы сменными венцами рабочего колеса;

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

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

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

Низкий уровень шума благодаря применению оригинального спрямляющего аппарата;

По требованию заказчика вентилятор может быть укомплектован глушителем шума.

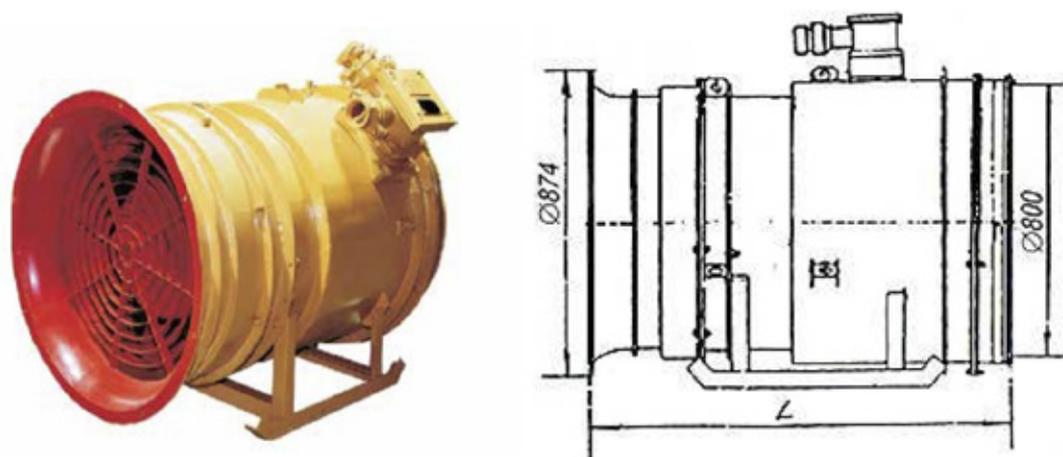


Рисунок 14 – Вентилятор осевой шахтный ВМЭ-8

Таблица 5 Технические характеристики вентилятора ВМЭ – 8

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

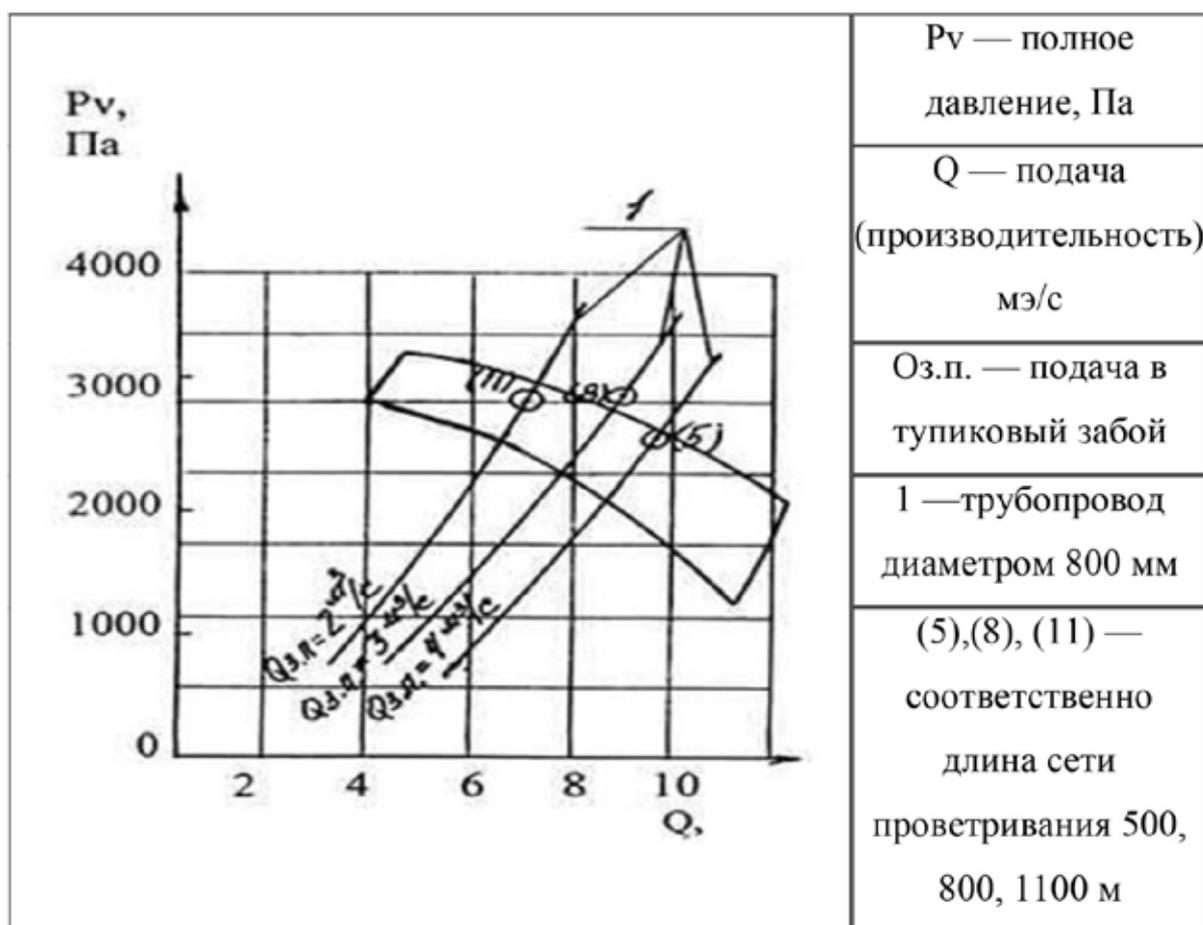


Рисунок 15 – Аэродинамические характеристики вентилятора ВМЭ-8

## 3.2 Выбор и определение параметров электродвигателя

### Двигатель ВРМ 200L2У2,5

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

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

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

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

Обмотка ротора - литая из сплава алюминия, короткозамкнутая.

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

Таблица 6 – Технические данные двигателя ВРМ 200L2У2,5

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

Для расчета характеристик асинхронного двигателя, как правило, пользуются его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения. Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т – образная схема замещения.

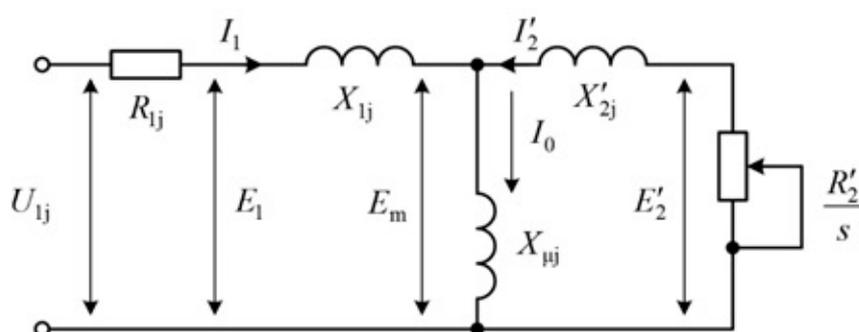


Рисунок 16 – Т-образная схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие схеме замещения:

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

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

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

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

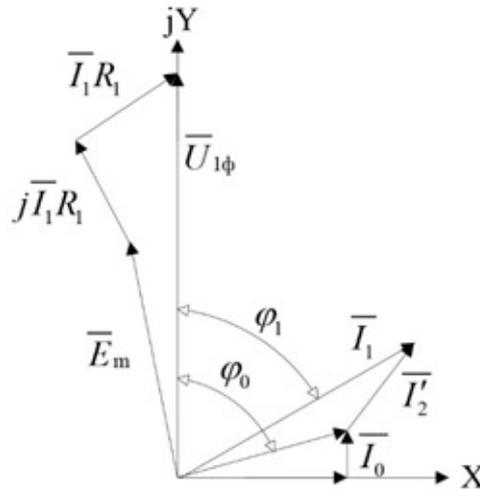


Рисунок 17 – Векторная диаграмма асинхронной машины

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1чЗ}^2 - \left[ I_{1H} \kappa_{чЗ} \frac{1-s_H}{1-\kappa_{чЗ} s_H} \right]^2}{1 - \left[ \kappa_{чЗ} \frac{1-s_H}{1-\kappa_{чЗ}} \right]^2}}, \quad (3.2.3)$$

$$I_0 = \sqrt{\frac{47,49^2 - \left[ 94,98 \cdot 0,5 \frac{1-0,023}{1-0,75 \cdot 0,023} \right]^2}{1 - \left[ 0,5 \cdot \frac{1-0,023}{1-0,5} \right]^2}} = 11,34 \text{ A.}$$

$\cos \varphi_{чЗ}, \eta_{чЗ}$  – коэффициент мощности и КПД двигателя при частичной нагрузке;  $\kappa_{чЗ} = P_{чЗ} / P_H$  – коэффициент частичной загрузки двигателя.

Коэффициент мощности и КПД при частичной нагрузке в технической

литературе приводятся редко, а для целого ряда серий электрических машин такие данные в справочной литературе отсутствуют. Эти параметры можно определить, руководствуясь следующими соображениями: современные асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при загрузке на 10 – 15% меньшей номинальной. Двигатели рассчитываются так потому, что большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому КПД при номинальной нагрузке и нагрузке  $p = 0,5$  практически равны между собой.

Номинальный ток статора двигателя:

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

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

Ток статора двигателя при частичной загрузке:

$$I_{1ЧЗ} = \frac{\kappa_{ЧЗ} \cdot P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_{ЧЗ} \cdot \eta_{ЧЗ}} \quad (3.2.5)$$

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

Критическое скольжение:

$$s_{КР1} = s_H \frac{\left[ K_M + \sqrt{K_M^2 - [1 - 2s_H \beta (K_M - 1)]} \right]}{1 - 2s_H \beta (K_M - 1)}; \quad (3.2.6)$$

$$s_{KPI} = 0,023 \frac{\left[ 2,2 + \sqrt{2,2^2 - [1 - 2 \cdot 0,023 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)]} \right]}{1 - 2 \cdot 0,023 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,1$$

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

Далее по приведённым выражениям необходимо определить ряд промежуточных коэффициентов.

Определим коэффициент пропорциональности  $C_1$ :

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

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

Определим значение  $A_1$ :

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

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

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

$$R_2' = \frac{A_1}{\left( \beta + \frac{1}{s_x} \right) \cdot C_1}; \quad (3.2.9)$$

$$R_2' = \frac{0,63}{\left( 1 + \frac{1}{0,1} \right) \cdot 1,01} = 0,058 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статора обмотки:

$$R_1 = C_1 R_2' \beta; \quad (3.2.10)$$
$$R_1 = 1,028 \cdot 0,058 \cdot 1 = 0,059 \text{ Ом.}$$

Параметр  $\gamma$ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания  $X_{KH}$

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_k^2}\right) - \beta^2}; \quad (3.2.11)$$

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

Если значение  $\gamma$  отрицательно, то необходимо изменить первоначальное принятое значение  $\beta$ .

Индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$X_{KH} = \gamma C_1 R_2'; \quad (3.2.11)$$
$$X_{KH} = 9,79 \cdot 1,01 \cdot 0,058 = 0,57 \text{ Ом.}$$

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

$$X_2' = 0,58 \frac{X_{KH}}{C_1}; \quad (3.2.12)$$
$$X_2' = 0,58 \cdot \frac{0,57}{1,01} = 0,33 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_{KH}; \quad (3.2.13)$$
$$X_1 = 0,42 \cdot 0,57 = 0,25 \text{ Ом.}$$

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

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

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

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

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

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

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

Индуктивное сопротивление намагничивания:

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

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

Таблица 7 – Рассчитанные параметры схемы замещения асинхронного двигателя.

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

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

Синхронная угловая скорость двигателя:

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

Характерные точки электромеханической характеристики.

Номинальный режим:

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

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{50000}{306,93} = 162,9 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (3.2.19)$$

Режим короткого замыкания (режим пуска):

$$I_n = k_T \cdot I_n = 7 \cdot 94,6 = 662,2 \text{ А.} \quad (3.2.20)$$

Определим зависимость тока ротора  $I_2'$  приведенного к обмотке статора, от скорости  $\omega$ :

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left( R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + (X_{1H} + X_{2H}')^2}}. \quad (3.2.21)$$

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

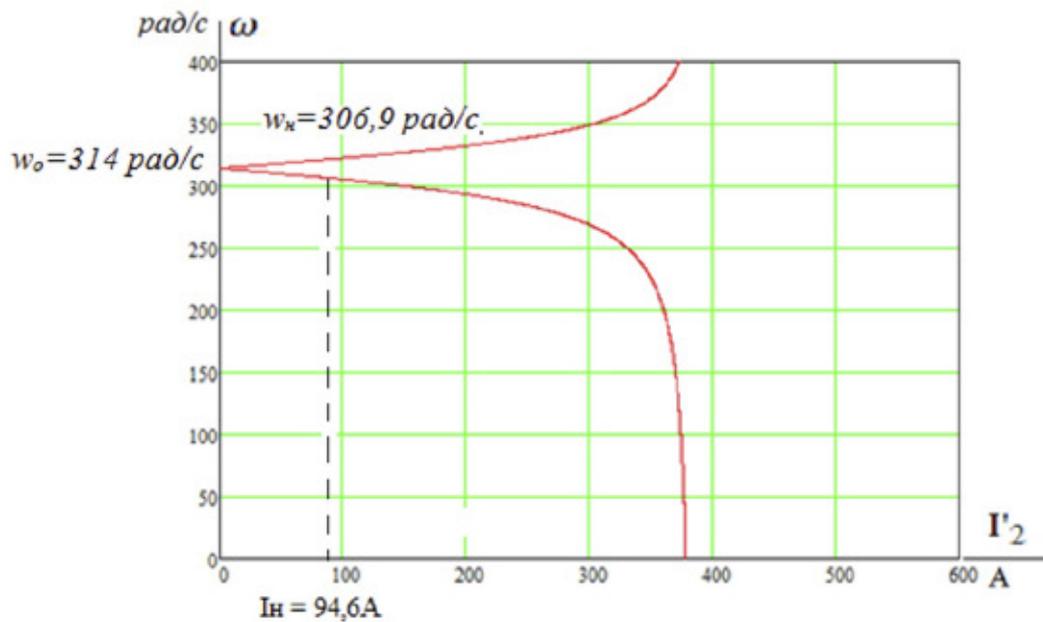


Рисунок 18 – График электромеханической характеристики  $I'_2 = f(\omega)$

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

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

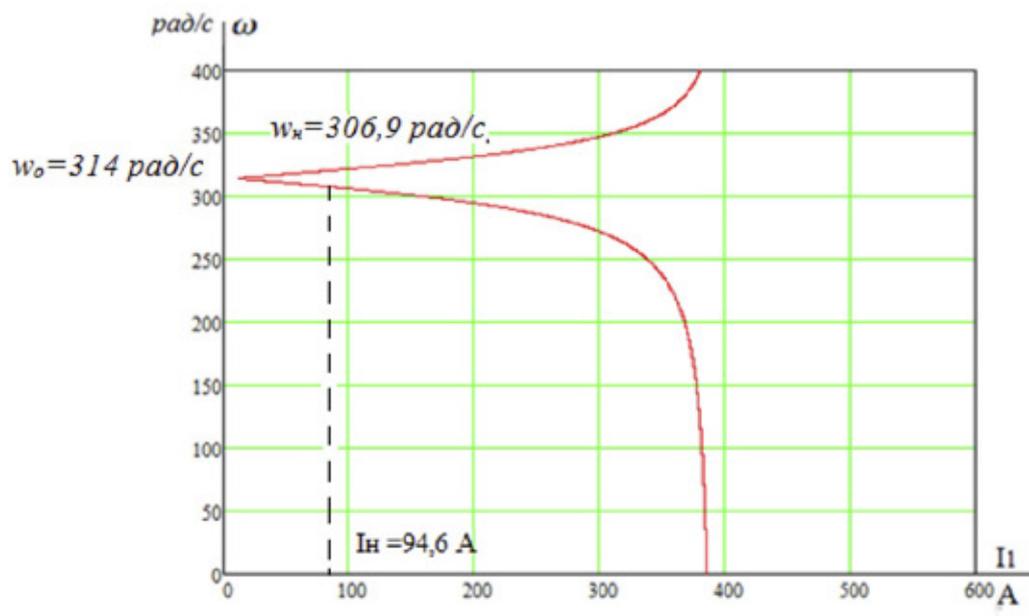


Рисунок 19 – График естественной электро­механической характеристики

$$I_1 = f(\omega) \text{ асинхронного двигателя}$$

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

$$M(\omega) = \frac{3U_{1H}^2 R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \left[ \left( R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{KH}^2 \right]} \quad (3.2.2)$$

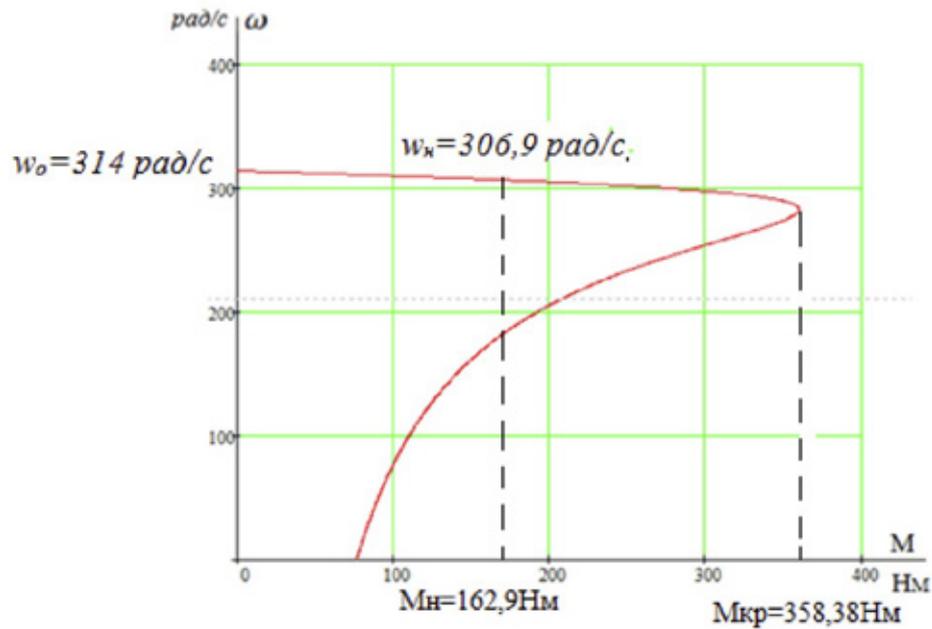


Рисунок 20. – Естественная механическая характеристика двигателя

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

$$M_{сдв} = M_{эмн} - M_{двн} = 166,387 - 162,9 = 3,487, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (3.2.2)$$

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

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.058}{157 \cdot 0.023 \cdot \left[ 0.57^2 + \left( 0.059 + \frac{0.058}{0.023} \right)^2 + \left( \frac{0.059 \cdot 0.058}{0.023 \cdot 18.07} \right)^2 \right]} = 166,387 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

– номинальный электромагнитный момент двигателя.

Момент постоянных потерь на валу вентилятора

$$\Delta M_{\text{пост}} = K \cdot M_{\text{полн}} = 0.049 \cdot 162.9 = 8.06 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\Delta M_c = M_{c \text{ дв}} + \Delta M_{\text{пост}} = 3.487 + 8.06 = 11.54 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

момент сопротивления от сил трения, приведенный к валу двигателя:

(3.2.25)

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

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

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

$$M_{ci}(\omega) = \Delta M_c + (1 + b_j) \cdot M_{\text{пол } i} \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_n} \right)^{x_j}, \quad (3.2.27)$$

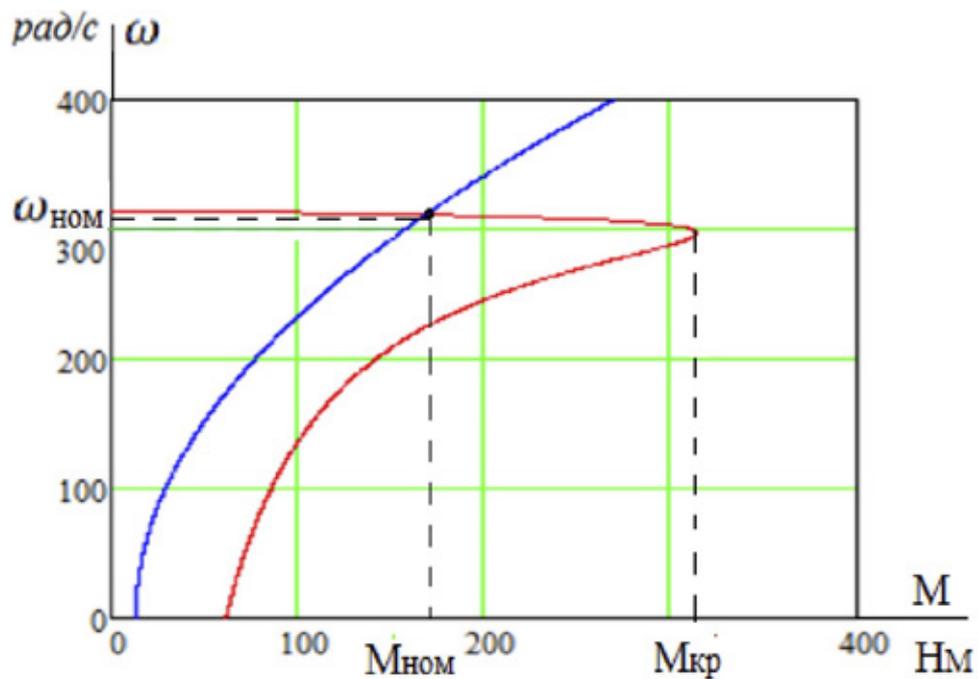


Рисунок 21. – Естественная механическая характеристика двигателя  $\omega(M)$  и характеристика полного момента сопротивления на валу

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

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

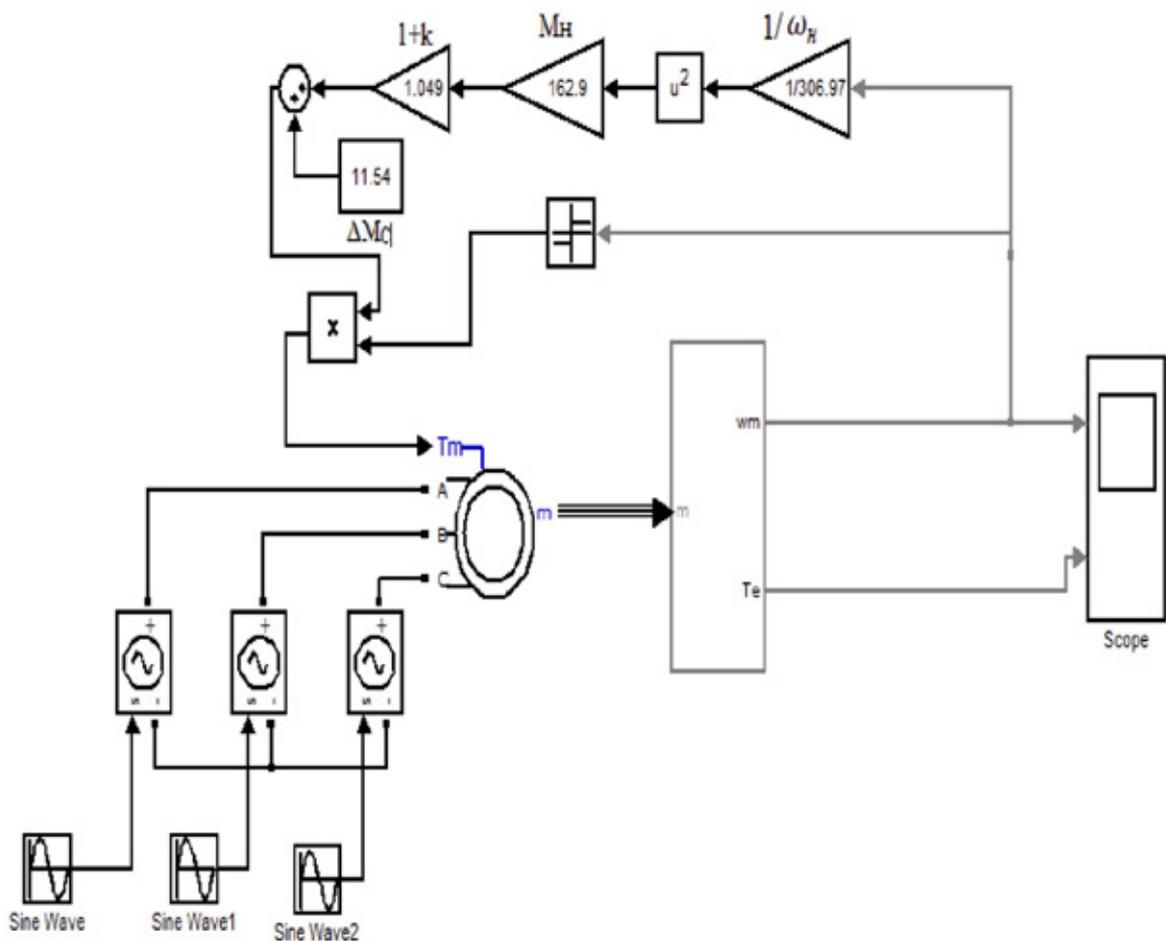


Рисунок 22 – Модель электропривода переменного тока с вентиляторной нагрузкой

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

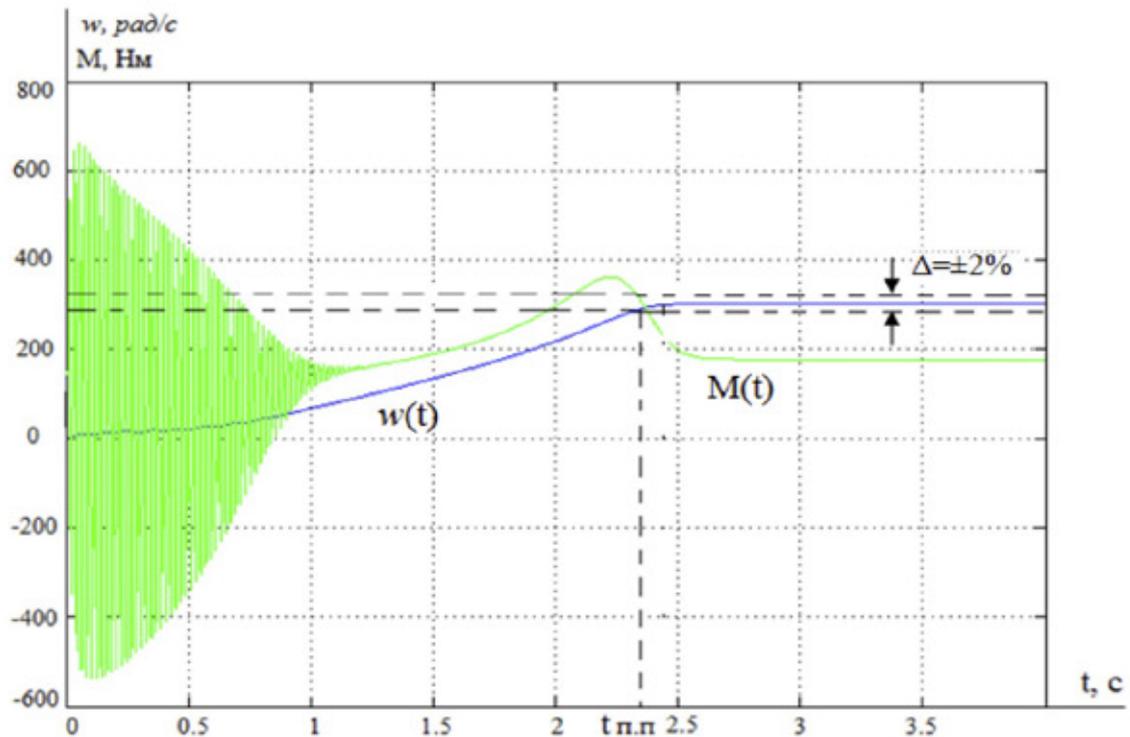


Рисунок 23 – Переходные процессы пуска асинхронного двигателя под нагрузкой.

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

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

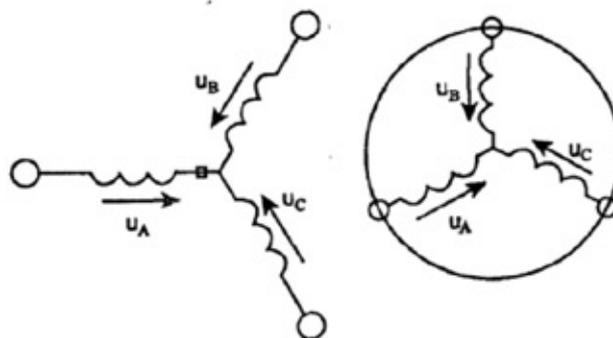


Рисунок 24 – обобщенная асинхронная машина

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

$$\begin{array}{ll}
 \text{Для статора:} & \text{Для ротора:} \\
 U_A = R_A I_A + \frac{d\psi_A}{dt}, & U_a = R_a I_a + \frac{d\psi_a}{dt}, \\
 U_b = R_b i_b + \frac{d\psi_b}{dt}, & U_B = R_B I_B + \frac{d\psi_B}{dt}, \\
 U_c = R_c i_c + \frac{d\psi_c}{dt}, & U_C = R_C I_C + \frac{d\psi_C}{dt}.
 \end{array} \quad (3.2.28)$$

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

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

$$\begin{array}{l}
 \text{Для статора:} \\
 \psi_A = L_{AA}i_A + L_{AB}i_B + L_{AC}i_C + L_{Aa}i_a + L_{Ab}i_b + L_{Ac}i_c \\
 \psi_B = L_{BA}i_A + L_{BB}i_B + L_{BC}i_C + L_{Ba}i_a + L_{Bb}i_b + L_{Bc}i_c \\
 \psi_C = L_{CA}i_A + L_{CB}i_B + L_{CC}i_C + L_{Ca}i_a + L_{Cb}i_b + L_{Cc}i_c
 \end{array} \quad (3.2.29)$$

Для Ротора:

$$\begin{array}{l}
 \psi_a = L_{aA}i_A + L_{aB}i_B + L_{aC}i_C + L_{aa}i_a + L_{ab}i_b + L_{ac}i_c \\
 \psi_b = L_{bA}i_A + L_{bB}i_B + L_{bC}i_C + L_{ba}i_a + L_{bb}i_b + L_{bc}i_c \\
 \psi_c = L_{cA}i_A + L_{cB}i_B + L_{cC}i_C + L_{ca}i_a + L_{cb}i_b + L_{cc}i_c
 \end{array}$$

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

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

$$J \frac{d\bar{\omega}_m}{dt} = \bar{M} - \bar{M}_H \quad (3.2.30)$$

Где  $J$ (кг) – момент инерции на валу машины, учитывающий инерционность как самой машин, так и приведенной к валу инерционности рабочего механизма и редуктора,  $\bar{\omega}_m$  (рад/с) - угловая скорость вала машины,  $\bar{M}_H$  (Нм) - момент рабочего механизма, приведенной к валу, который в общем случае может быть функцией скорости и угла поворота.

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

$$\bar{M} = k(\bar{\psi} \times \bar{i}) \quad (3.2.31)$$

$$\begin{aligned} \bar{u}_S &= R_S \bar{i}_S + \frac{d\bar{\psi}_S}{dt}, \\ \bar{u}_R &= R_R \bar{i}_R + \frac{d\bar{\psi}_R}{dt}, \\ \bar{\psi}_S &= L_S \bar{i}_S + L_m(\theta) \bar{i}_R, \\ \bar{\psi}_R &= L_m(\theta) \bar{i}_S + L_R \bar{i}_R, \end{aligned} \quad (3.2.32)$$

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

Переменные коэффициенты взаимной индукции в уравнениях для потокосцепления (3.2.32) являются результатом того, что уравнения равновесия ЭДС для статора записаны в неподвижной системе координат, связанной с ротором. Метод пространственного вектора позволяет записать эти уравнения в единой системе координат, вращающейся с произвольной скоростью  $\omega_k$ . В этом случае уравнение (3.2.32) преобразуется к виду

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

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

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

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

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

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

$$M = \frac{3}{2} p k_R \cdot \text{Mod}(\vec{\psi}_R \times \vec{i}_S). \tag{3.2.34}$$

Обобщенная система уравнении для описания асинхронной машины принимает вид:

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

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

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

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

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

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

Где:

$$\begin{aligned}
r &= (R_S + K_R^2 \cdot R_R); \\
L'_S &= \left( L_S - \frac{L_m^2}{L_R} \right);
\end{aligned}$$

$$K_R = \frac{L_m}{L_R}, \quad (3.2.37)$$

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

$$T_S' = \frac{L_S'}{r},$$

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

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

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

Пространственные вектора в этом случае раскладываются по осям

$$\vec{u}_S = u_{Sa} + ju_{Sb}, \vec{i}_S = i_{Sa} + ji_{Sb}, \vec{\psi}_R = \psi_{Ra} + j\psi_{Rb}.$$

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

$$\begin{aligned}
\bar{u}_{S\alpha} &= r i_{S\alpha} + L'_S \frac{di_{S\alpha}}{dt} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\alpha} + k_R p \omega_m \psi_{R\beta}, \\
\bar{u}_{S\beta} &= r i_{S\beta} + L'_S \frac{di_{S\beta}}{dt} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\beta} + k_R p \omega_m \psi_{R\alpha}, \\
0 &= -k_R R_R i_{S\alpha} + \frac{1}{T_R} \psi_{R\alpha} + \frac{d\psi_{R\alpha}}{dt} + p \omega_m \psi_{R\beta}, \\
0 &= -k_R R_R i_{S\beta} + \frac{1}{T_R} \psi_{R\beta} + \frac{d\psi_{R\beta}}{dt} + p \omega_m \psi_{R\alpha}, \\
M &= \frac{3}{2} p k_R (\psi_{R\alpha} i_{S\beta} - \psi_{R\beta} i_{S\alpha}), \\
J \frac{d\omega_m}{dt} &= M - M_H
\end{aligned} \tag{3.2.38}$$

Система уравнений (3.2.38) в операторной форме примет вид

$$\begin{aligned}
\bar{u}_{S\alpha} &= r(1 + T'_S) i_{S\alpha} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\alpha} - k_R p \omega_m \psi_{R\beta}, \\
\bar{u}_{S\beta} &= r(1 + T'_S) i_{S\beta} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\beta} + k_R p \omega_m \psi_{R\alpha}, \\
0 &= -k_R R_R i_{S\alpha} + \frac{1}{T_R} (1 + T'_S) \psi_{R\alpha} + p \omega_m \psi_{R\beta}, \\
0 &= -k_R R_R i_{S\beta} + \frac{1}{T_R} (1 + T'_S) \psi_{R\beta} - p \omega_m \psi_{R\alpha}, \\
M &= \frac{3}{2} p k_R (\psi_{R\alpha} i_{S\beta} - \psi_{R\beta} i_{S\alpha}), \\
J s \omega_m &= M - M_H, \\
\bar{T}'_S &= \frac{L'_S}{r}.
\end{aligned} \tag{3.2.39}$$

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

Таблица 8 – Безразмерные коэффициенты

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



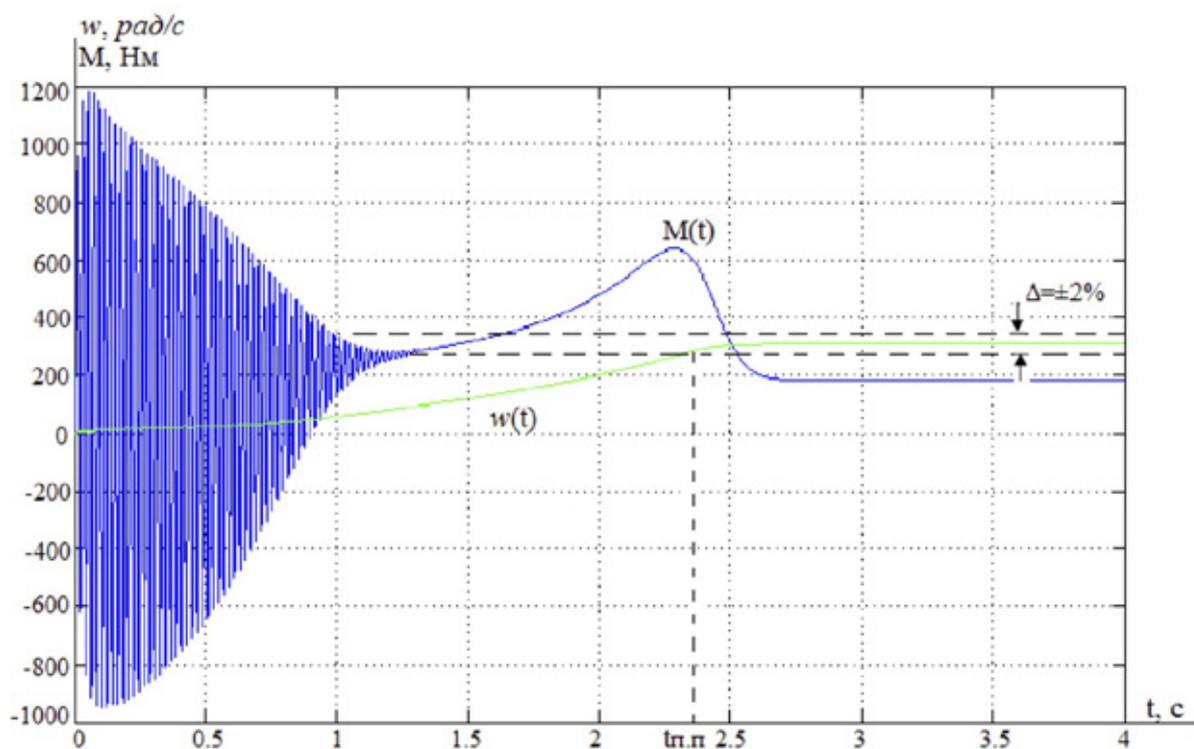


Рисунок 26– результаты моделирования АКЗ в неподвижной системе координат

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

## 4. ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

### 4.1. Выбор преобразователя частоты

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

В соответствии с условием

$$I_{и.н} \geq I_n = 94.6A$$



Рисунок 27- преобразователь частоты EI -7011-075Н

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

Таблица 9 – Параметры преобразователя частоты

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

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

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

### **Технические характеристики:**

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

### **Общие технические данные преобразователя частоты EI -7011:**

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

#### Характеристики цепи управления:

- Метод управления: Синусоидальная широтно-импульсная модуляция;
- Диапазон управления по частоте: от 0,1 до 400 Гц;
- Точность частотных режимов: Цифровая команда:  $\pm 0,01\%$  (от -10°C до + 40°C), Аналоговая команда:  $\pm 0,1\%$  (при 25°C  $\pm 10^\circ\text{C}$ );

- Разрешающая способность по частоте: Устанавливается уставкой константы в цифровой форме: 0,1 Гц, Устанавливается в аналоговой форме: 0,1 Гц;
- Разрешение по выходной частоте: 0,1 Гц;
- Запас по перегрузке: 120% от номинального выходного тока в течение 1 мин;
- Аналоговый вход задания частоты: от 0 до + 10 В ( 20 кОм ), от 4 до 20 мА ( 250 Ом );
- Время разгона/торможения: от 0,0 до 3600 с (времена разгона/торможения имеют независимые уставки);
- Тормозящий крутящий момент: Порядка 20% без тормозного резистора, с внешним тормозным резистором - 100 %;
- Тормозной прерыватель:
- Встроен в преобразователь (для моделей до 15 кВт включительно);
- Внешний тормозной прерыватель (18,5 ... 315 кВт);

#### Защитные функции:

- Кратковременное отключение питания:
- Немедленное отключение выходного силового напряжения при кратковременном прекращении подачи питания на 15 мс и более (заводское значение). Возможно возобновление управления после возобновления подачи напряжения при его прекращении на время не более 2 с (от 0,75 до 75 кВт);
  - Немедленное отключение выходного силового напряжения при прекращении подачи питания (от 93 до 315 кВт);
  - Перегрев радиатора-теплоотвода: Защищен термистором;
  - Предотвращение срыва вращения: Предотвращение срыва во время разгона/торможения и вращения с постоянной скоростью;
  - Защита от токов утечек: Защищен электронной цепью (нарушение баланса выходных токов);



## 4.2. ВЫБОР ЗАКОНА ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

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

### 4.2.1. Механические характеристики системы преобразователь –

двигатель при законе  $U_1/f_1^2 = const$ .

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

$$U_1(f_1) = U_{1\text{фн}} \cdot \left( \frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2, \quad (49)$$

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

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot U_1^2(f_1) \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \cdot s \cdot \left[ \left( X_{кн} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}} \right)^2 \right]} \quad (50)$$

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

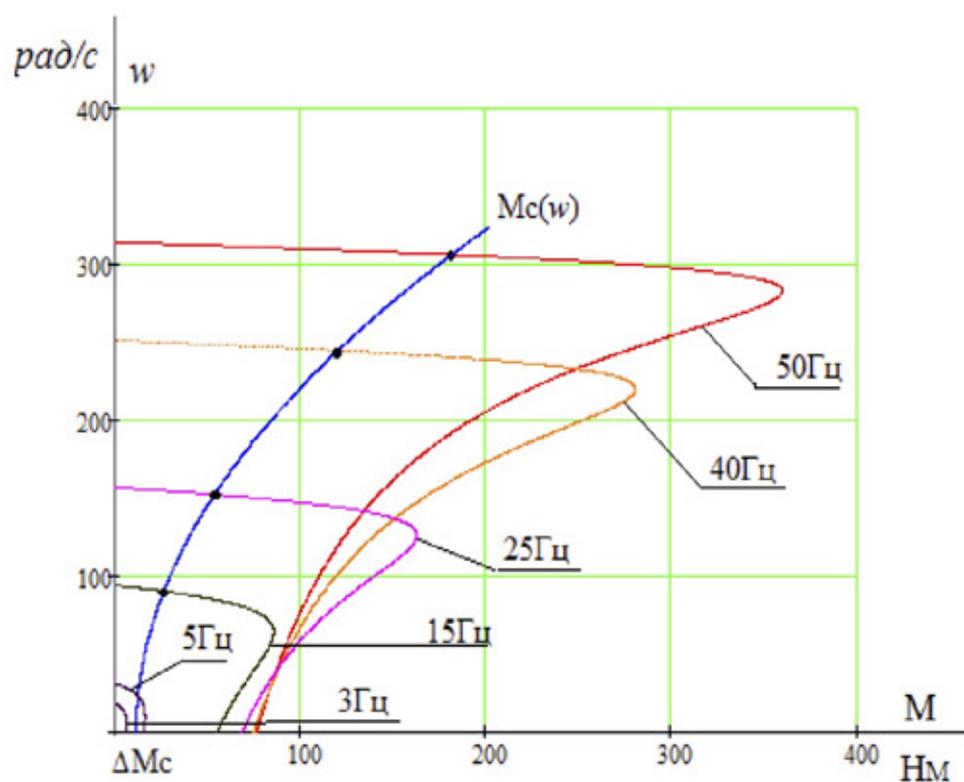


Рисунок 29 – механические характеристики  $\omega(M)$  системы преобразователь – двигатель при законе  $U_1/f_1^2 = \text{const}$ .

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

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

Вольт – частотная характеристика представлена зависимостью

$$U_1(f_1) = U_{1\text{мин}} + (U_{1\text{фн}} - U_{1\text{мин}}) \cdot \left( \frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2$$

и приведена на рисунке (30).

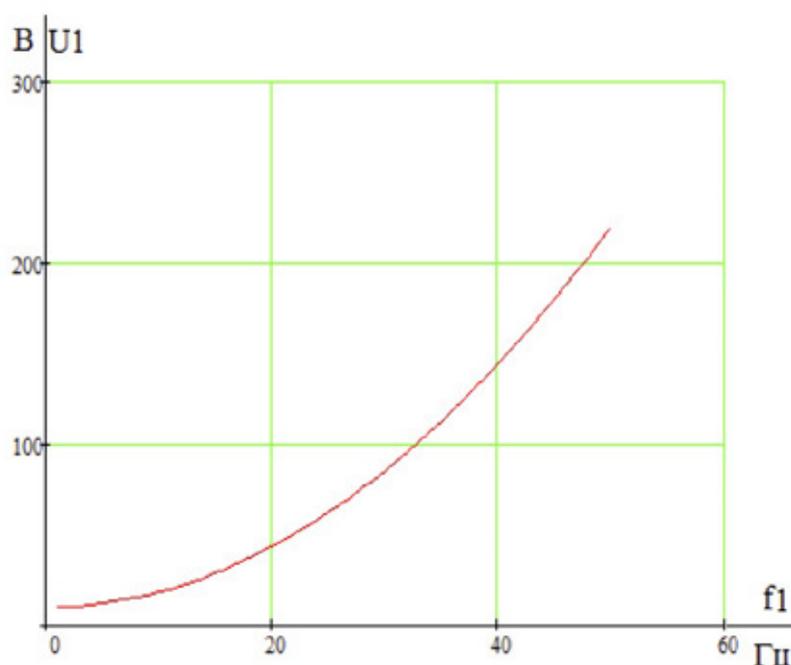


Рисунок 30 – вольт – частотная характеристика преобразователя при законе

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

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

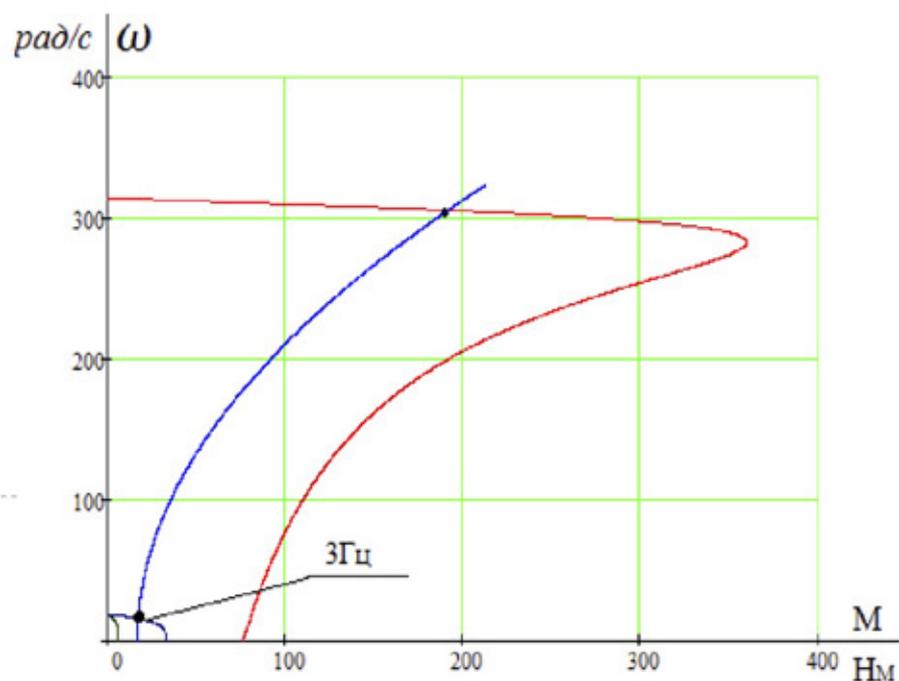


Рисунок 31 - Механические характеристики системы преобразователь – двигатель при настройке вольт – частотной характеристики

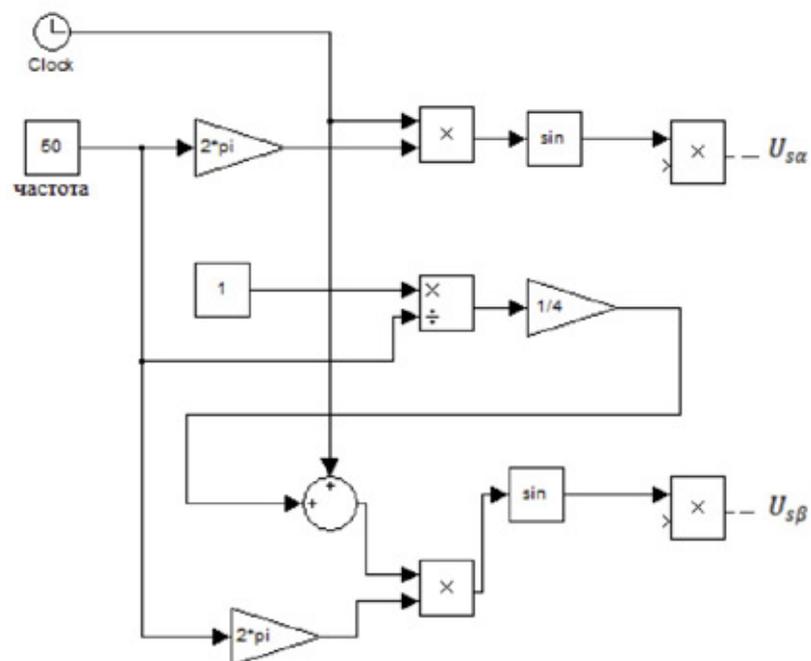


Рисунок 32 - – Имитационная модель подсистемы «Source», представляющей собой источник синусоидальных напряжений, сдвинутых на  $90^0$  относительно друг друга

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

$$U_1 / f_1^2 = const$$

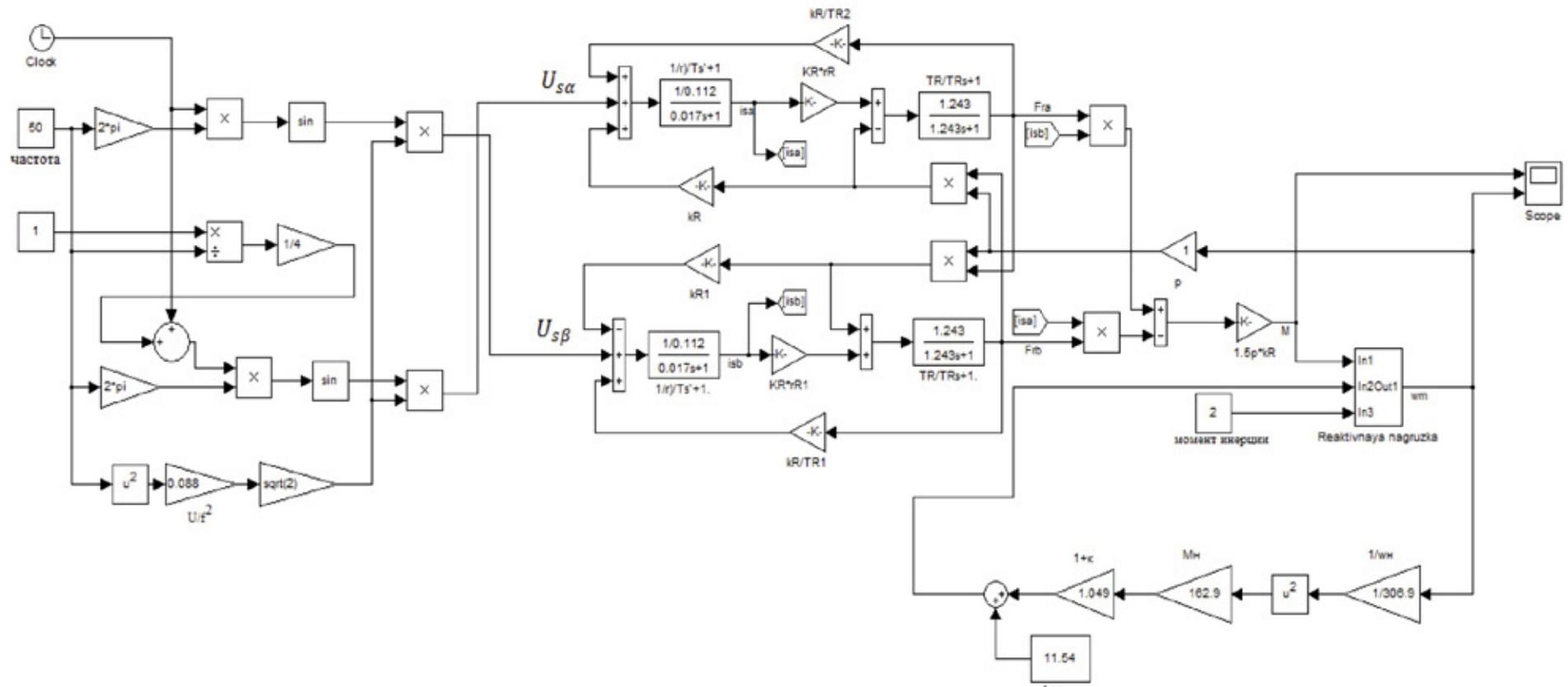


Рисунок 33 - Имитационная модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат и вентиляторной нагрузки.

В неподвижной комплексной системе координат вещественная ось обозначается  $\alpha$ , а мнимая  $\beta$ .

$$\begin{aligned} U_{s\alpha} &= \sin(\omega t + 90^\circ) \\ U_{s\beta} &= \sin \omega t \end{aligned} \quad (52)$$

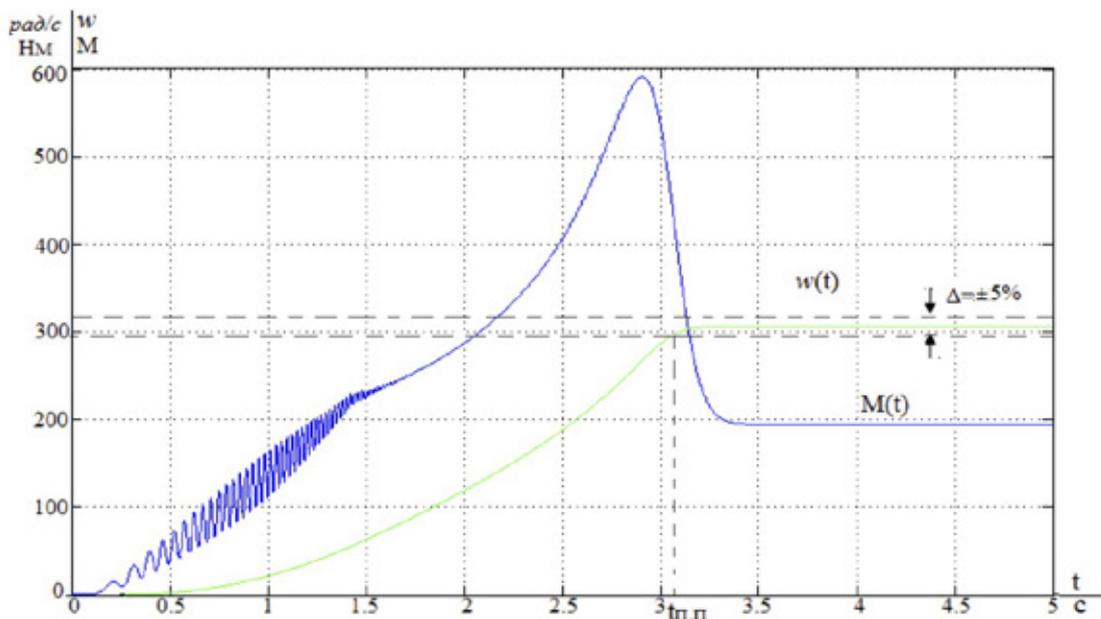


Рисунок 34 - Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой при законе  $U_1/f_1^2 = \text{const}$  при частоте 50 Гц

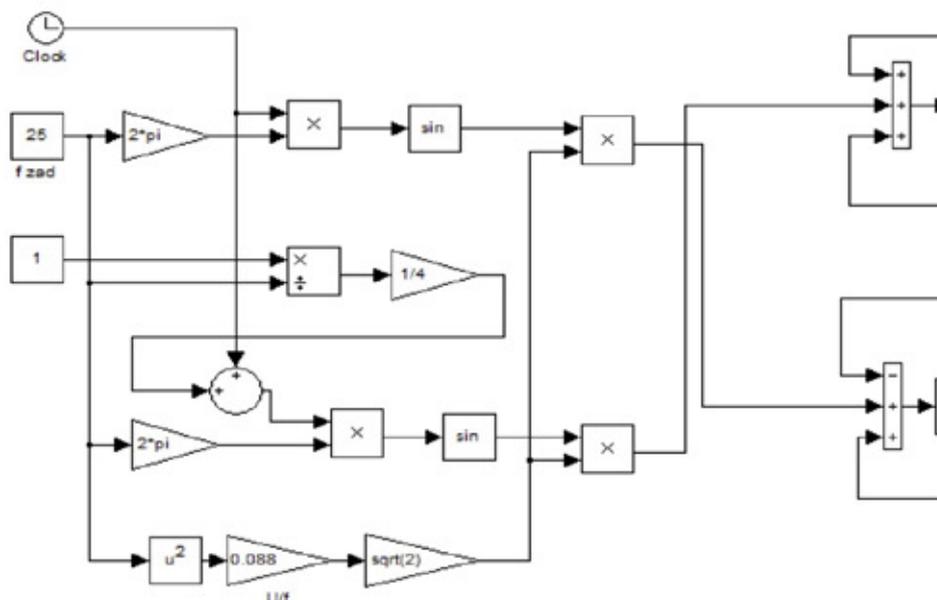


Рисунок 35 – снижение частоты до 25 Гц при законе  $U_1/f_1^2 = \text{const}$  в подсистеме «Source»

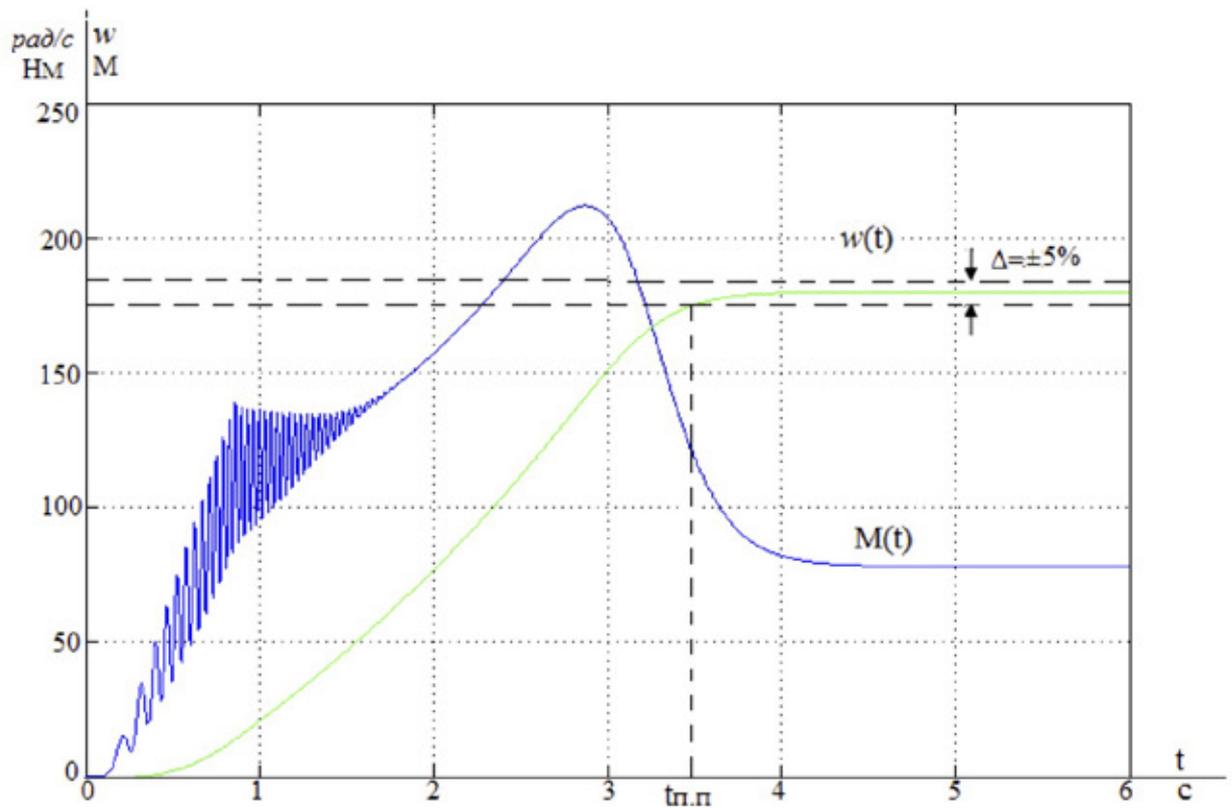


Рисунок 36 - Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой

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

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

Вольт – частотная характеристика :

$$U_1(f_1) = U_{\text{мин}} + (U_{\text{фн}} - U_{\text{мин}}) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{\text{н}}}\right)^2 \quad (53)$$

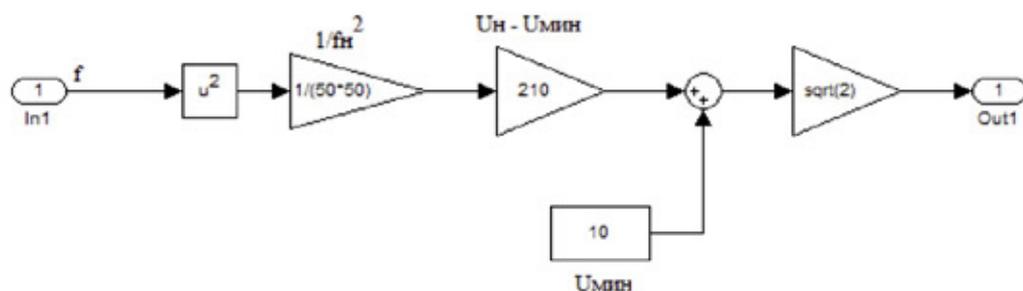


Рисунок 37 - имитационная модель вольт частотной характеристики.

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

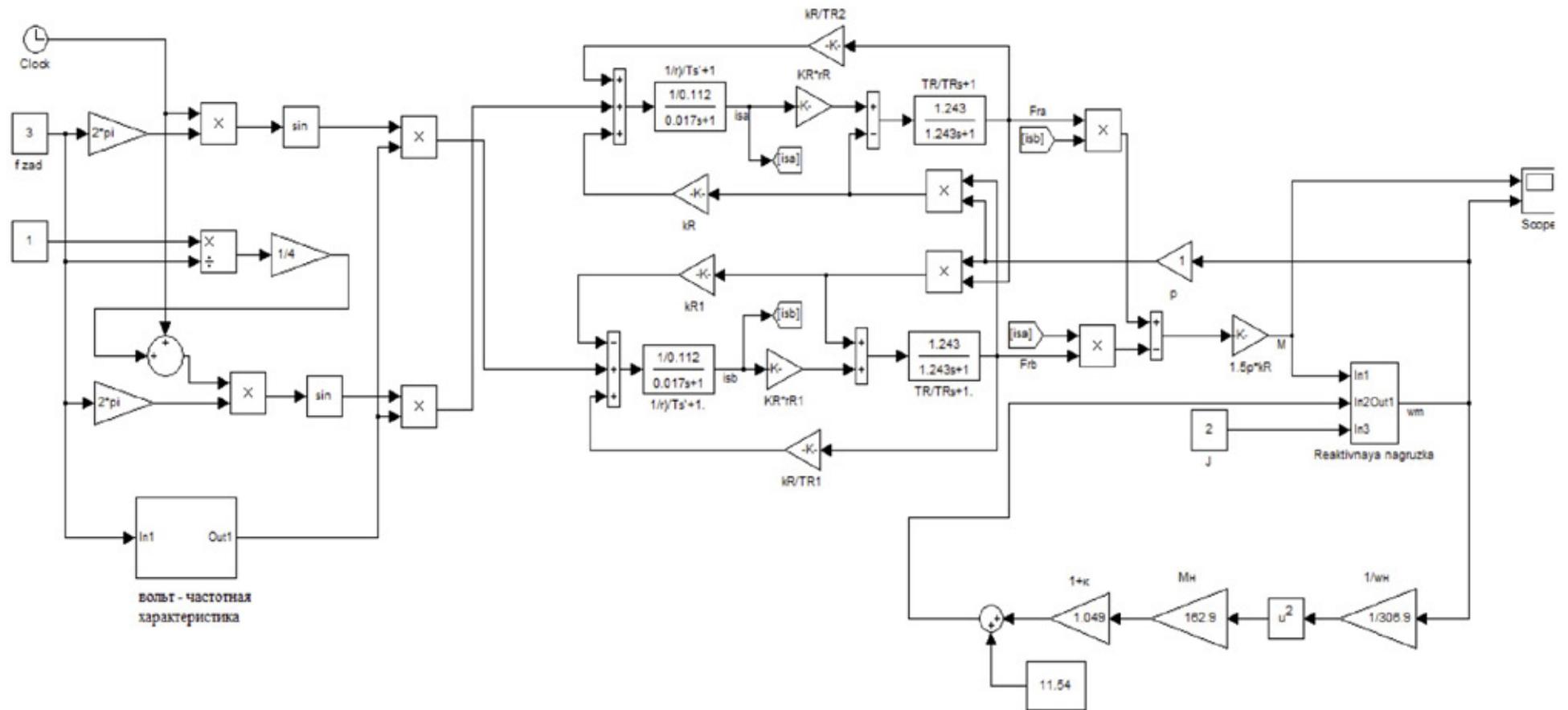


Рисунок 38 - Имитационная модель АКЗ в неподвижной системе координат и вентиляторной нагрузки при настройке вольт частотной характеристики

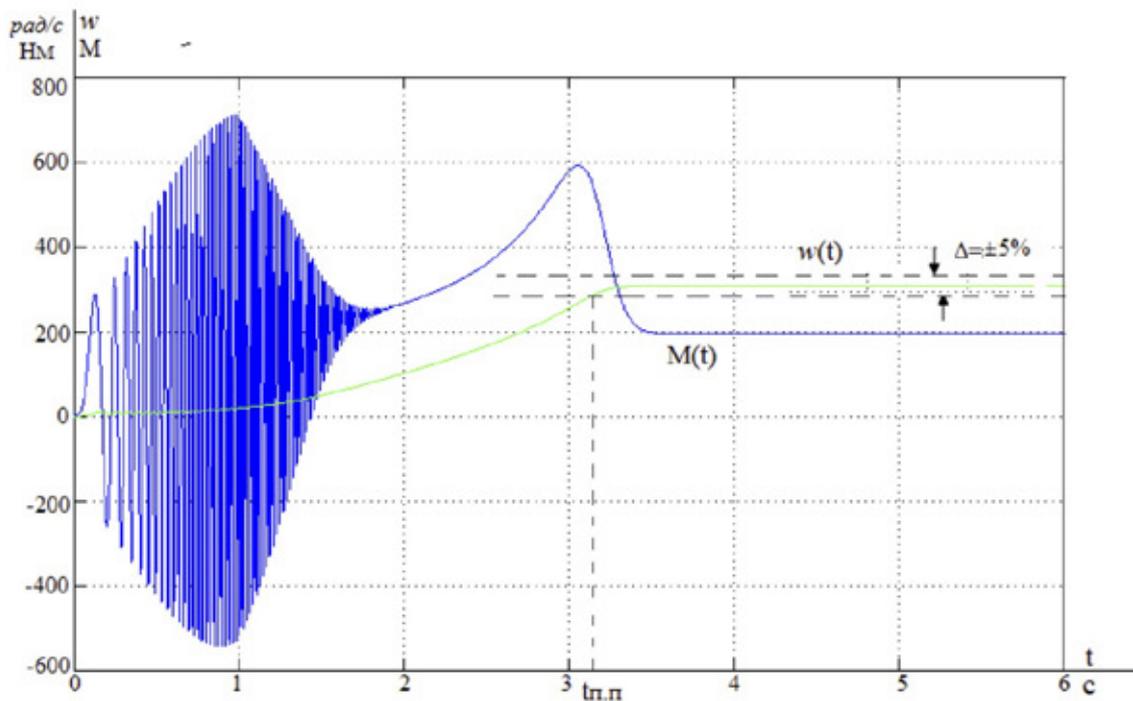


Рисунок 39 – Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой при настройке вольт – частотной характеристики при частоте 50 Гц

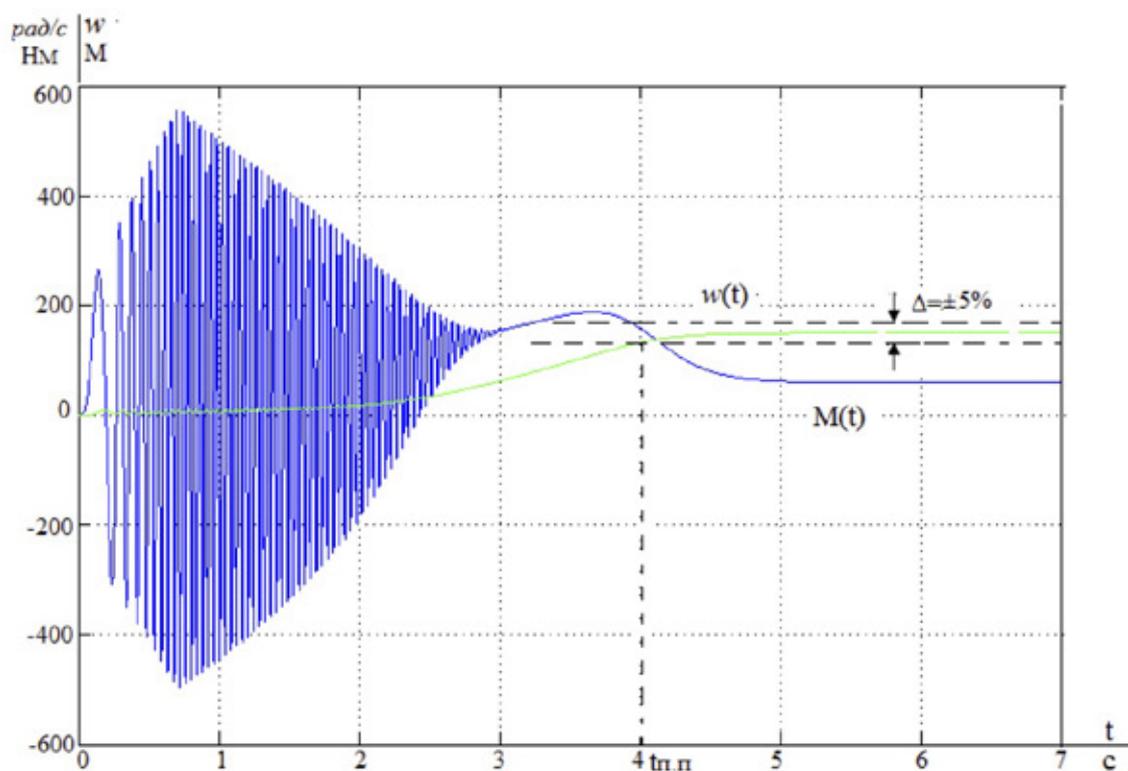


Рисунок 39 – Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой при настройке вольт – частотной характеристики при частоте 15 Гц

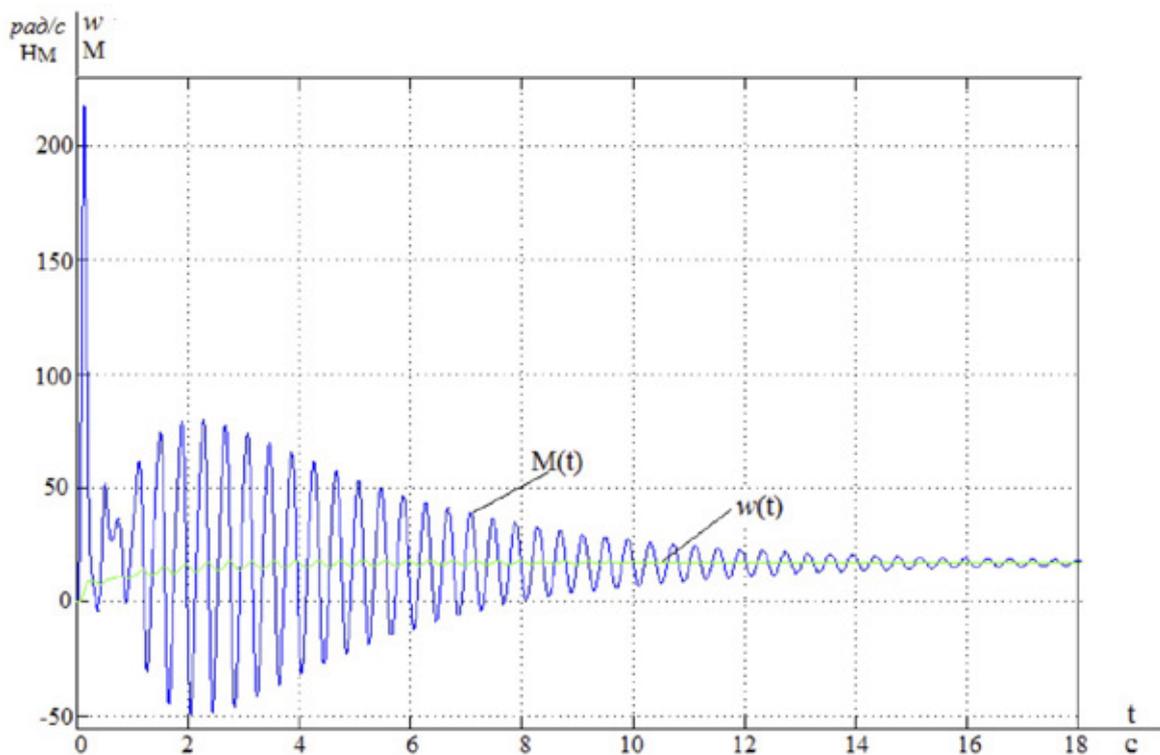
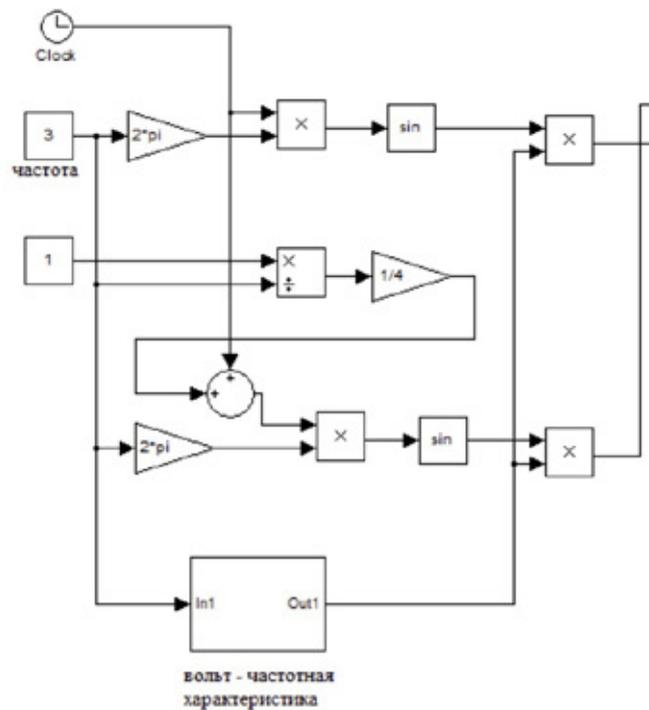


Рисунок 40 - Переходные процессы пуска АД с вентиляторной нагрузкой при настройке вольт – частотной характеристики при частоте 3 Гц

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

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г2Б1	Холдину Дмитрию Викторовичу

<b>Институт</b>	<b>ИнЭО</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭПЭО</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

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

1. *Стоимость ресурсов проектных работ*
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*
3. *Используемая система социальных отчислений*

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. *Оценка коммерческого потенциала и перспективности выполнения технического проекта;*
2. *Планирование технико-конструкторских работ;*
3. *Планирование сметы технического проекта;*
4. *Определение ресурсной ( ресурсосберегающей ), и экономической эффективности исследования.*

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)**

1. *График выполнения работ исполнителями ТП ( диаграмма Ганта )*
2. *Матрица SWOT*

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко Аркадий Альбертович	Кандидат экономических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Г2Б1	Холдин Дмитрий Викторович		

## **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В настоящее время перспективность технического проектирования определяется не столько масштабом проекта, оценить который на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для выполнения технологического проекта и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы будущего проекта.

Таким образом, целью данного раздела является обоснование целесообразности выпускной квалификационной работы, которая отвечает современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности выполнения технического проекта;
- планирование проектно-конструкторских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

## 5.1 SWOT-анализ технического проекта

SWOT - анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [13].

Применительно к проекту по разработке осевого вентилятора местного проветривания шахты, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.

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

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 10. На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие.

Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 11 и 12.

Таблица 10 - Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	<p>С1. Высокая надежность обеспечением необходимого давления и подачи воздуха в забой.</p> <p>С2. Большая экономия потребляемой эл.энергии.</p> <p>С3. Квалифицированный персонал.</p> <p>С4. Повышение безопасности производства</p> <p>С5. Небольшие затраты на ремонт оборудования</p>	<p>Сл1. Повышенный уровень шума при работе.</p> <p>Сл2. Высокая стоимость оборудования.</p> <p>Сл3. Большой срок поставки оборудования и комплектующих.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Экономия производительности энергоблоков</p> <p>В2. Уменьшение себестоимости путем внедрения новых технологий.</p> <p>В3. Дополнительное резервное питание вентилятора.</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных систем.</p>	<p>В1С1С2С3С4;</p> <p>В2С1С2С4С5;</p> <p>В3С1С4С5;</p> <p>В4С1С2С5.</p>	<p>В1Сл2;</p> <p>В2Сл1;</p> <p>В4Сл2.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Исчезновение питания вентилятора.</p> <p>У2. Негативные изменения в отношениях с поставщиками.</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции</p> <p>У4. Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства</p>	<p>У1С1С3;</p> <p>У2С5;</p> <p>У3С1;</p> <p>У4С3.</p>	<p>У1Сл3;</p> <p>У2Сл2;</p> <p>У4Сл2.</p>

Таблица 11 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	V1	+	+	+	+	-
	V2	+	+	-	+	+
	V3	+	-	-	+	+
	V4	+	+	-	-	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	V1	-	+	-		
	V2	+	-	-		
V3	-	-	-			
V4	-	+	-			

Таблица 12 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	-	+	-	-
	У2	-	-	-	-	+
	У3	+	-	-	-	-
	У4	-	-	+	-	-
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	У1	-	-	+		
	У2	-	+	-		
У3	-	-	-			
У4	-	+	-			

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 11 и 12, показывает, что сильных сторон у проекта значительно больше, чем слабых. Самой сильной стороной проекта является надежность обеспечением необходимого давления и подачи воздуха в забой и повышение безопасности производства, так как исчезновение питания вентилятора может повлечь за собой опасность для жизни людей, а также нарушение сложного

технологического процесса. Кроме того, большая экономия потребляемой эл.энергии и дополнительное резервное питание вентилятора показывает перспективность проекта в целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

## **5.2 Разработка графика проведения работ технического проекта**

Важной частью данного проекта является составление графика проведения работ ТП, который предназначен для распределения обязанностей по выполнению работ и определения временных рамок производимой работы.

Весь комплекс работ разобьем на 10 этапов, а осуществит его группа из 2-х человек в следующем составе:

1. Бакалавр – проектировщик;
2. Научный руководитель.

В ходе построения графика учитывается ряд факторов, один из основных – трудоемкость работы.

### **5.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ**

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников выполнения проекта.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Методика оценки приведена в [14].

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}$$

где  $t_{ожи}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

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

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

Пример расчета ожидаемой трудоемкости выполнения работы дипломником на 2 этапе работы:

$$t_{i \alpha 2} = \frac{3 \times 8 + 2 \times 12}{5} = 9,6 \text{ чел.-дн.}$$

Результаты всех расчетов приведены в таблице 13.

### **5.2.2 Разработка последовательного комплекса работ проекта**

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ[14].

По сути, диаграмма Ганта состоит из полос, ориентированных вдоль оси времени, разбитого на декады. Каждая полоса на диаграмме представляет отдельную задачу в составе проекта (вид работы), её концы — моменты начала и завершения работы, её протяженность — длительность работы в днях.

Таблица 13 – Календарная продолжительность работ

№ этапа работы	Вид работ	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, $t_{\min}$ , чел.-дн.	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, $t_{\max}$ , чел.-дн.	Ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, $t_{\text{ож}}$ , чел.-дн.	Продолжительность одной работы, $T_p$ , раб.дн.
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	1	1	1
2	Изучение литературы	Дипломник	8	12	9,6	10
3	Сбор исходных данных	Дипломник	8	12	9,6	10
4	Подготовка и ввод данных в ЭВМ	Дипломник	8	12	9,6	10
5	Расчет на ЭВМ нагрузок вентилятора	Дипломник	14	16	14,8	15
6	Выбор оборудования	Дипломник	4	6	4,8	5
		Руководитель	1	1	1	1
7	Расчет элементов электропривода, построение характеристик	Дипломник	14	16	14,8	15
		Руководитель	1	1	1	1
8	Проверка правильности выбора оборудования	Дипломник	14	16	14,8	15
		Руководитель	1	1	1	1
9	Оформление пояснительной записки	Дипломник	8	12	9,6	10
10	Сдача проекта	Дипломник	1	1	1	1
		Руководитель	1	1	1	1

В приведенной выше таблице номерам этапов работы соответствуют следующие виды выполняемых работ:

№ 1 – составление технического задания (ТЗ) – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 – изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – сбор исходных данных – сбор параметров осевого вентилятора местного проветривания, двигателей, нагрузок;

№4 – подготовка данных, ввод нагрузок в спецпрограмму ЭВМ;

№5 – расчет на ЭВМ нагрузок осевого вентилятора местного проветривания;

№ 6 – выбор оборудования – выбор элементов электропривода;

№ 7 – расчет элементов электропривода, построение механических и электромеханических характеристик;

№ 8 – проверка правильности выбора оборудования;

№ 9 – оформление пояснительной записки;

№10 – сдача проекта – в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовку к защите и защиту проекта.

По результатам расчетов строится диаграмма Ганта, приведенная в таблице 14.

При заполнении таблицы используются следующие обозначения:

« Д » - дипломник;

« Р » - руководитель.

Таблица 14 – Диаграмма Ганта

№ этап работ	Вид работ	Исполнители	Продолжительность одной работы дн.	Продолжительность выполнения работ по декадам											
				Фев.	Март			Апрель			Май			Июнь	
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1	Составление ТЗ	Р	1	-											
2	Изучение литературы	Д	10		■										
3	Сбор исходных данных	Д	10			■									
4	Подготовка и ввод данных в ЭВМ	Д	10				■								
5	Расчет на ЭВМ нагрузок вентилятора	Д	15					■							
6	Выбор оборудования	Д	5						■						
		Р	1							■					
7	Расчет элементов электропривода, построение характеристик	Д	15							■					
		Р	1									■			
8	Проверка правильности выбора оборудования	Р	15									■			
		Д	1										■		
9	Оформление пояснительной записки	Д	10										■		
10	Сдача проекта	Р	1												■
		Д	1												■

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 11 декад, начиная с последней декады февраля и заканчивая первой декадой июня. Учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Продолжительность выполнения проекта составит 92 рабочих дня. Из них:

- 91 день – продолжительность выполнения работ дипломником;
- 5 дней – продолжительность выполнения работ руководителем;

### **5.3 Составление сметы технического проекта**

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением [14]. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

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

Материальные затраты в данном техническом проекте не рассчитываются, так как дополнительные материалы (канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.д.) отнесены в накладные расходы.

#### **5.3.1 Полная заработная плата исполнителей темы**

В настоящую статью включается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

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

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

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \times T_p,$$

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

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

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

(таблица 14.6).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

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

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

$Z_{\text{р.к.}}$  – районная доплата, руб.(30%);

$F_{\text{д}}$  – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Результаты расчётов основной заработной платы приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Результаты расчётов основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Заработная плата по тарифной ставке, руб.	Доплаты и надбавки, руб.	Районная доплата, руб. (30%)	Зарплата месячная, руб	Средняя заработная плата в день, руб.	Продолжительность работ, раб. дн.	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	29444	2200	9493	41137	1582	5	7911
Дипломник	7864	–	2359	10223	393	91	35763
Итого $Z_{\text{осн}}$ , руб.							43674

### **5.3.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)**

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

$$k_{\text{внеб}} = 30,2 \% \text{ в условиях ТПУ.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \times 49100 = 14800 \text{ руб.}$$

### **5.3.3 Накладные расходы**

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

Величину накладных расходов принимаем в размере 16% от общей суммы затрат.

### **5.3.4 Формирование сметы технического проекта**

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

Результаты затрат на технический проект приведены в таблице 17

Таблица 17 – Смета технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты ТП	-	-
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	49,1	64,6
3. Отчисления во внебюджетные фонды	14,8	19,4
4. Накладные расходы	12,1	16,0
<b>Итого</b>	<b>76,0</b>	<b>100,0</b>

Исходя из представленной выше таблицы 17, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение технического проекта составляет 76 тыс.руб. Из которых более половины (84 %) составляют затраты на оплату труда исполнителей.

#### 5.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности [15] проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

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

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию осевого вентилятора местного проветривания шахты рекомендуется рассмотреть следующие критерии:

- надежность весовой коэффициент достаточно высокий равен 0,25. Надежность электроснабжения обеспечивается дополнительным резервным питанием вентилятора, что позволяет обеспечить бесперебойность в электроснабжении.

- энергосбережение весовой коэффициент 0,2. Энергосбережение достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей, использование частотно-регулируемого привода.

- материалоемкость весовой коэффициент не очень большой 0,15. При проектировании системы электроснабжения значительную часть общего электропотребления компенсируем за счет энергосберегающей политики.

- помехоустойчивость весовой коэффициент составляет 0,15. Помехоустойчивость достигается за счет классификации всех электроприемников по степени их помехоустойчивости и выбора точки их подключения с учетом электромагнитной обстановки. Эти меры позволяют снизить помехи электроприемников.

- удобство в эксплуатации весовой коэффициент не очень высокий 0,15 т.к большие расстояния обслуживания электрических сетей.

- рост производительности труда пользователя, осуществляется в проекте благодаря повышению уровня автоматизации, что способствует росту производительности труда, но при этом капиталовложения возрастают, поэтому весовой коэффициент не высокий 0,1.

Результаты интегрального показателя ресурсоэффективности приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Результаты интегрального показателя ресурсоэффективности

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Надежность	0,25	5
2. Энергосбережение	0,20	4
3. Материалоемкость	0,15	4
4. Помехоустойчивость	0,15	5
5. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5
6. Способствует росту производительности труда пользователя	0,10	5
<b>Итого:</b>	1,00	

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{\delta i} = 5 \times 0,1 + 5 \times 0,15 + 5 \times 0,15 + 0,2 \times 4 + 0,25 \times 5 + 0,15 \times 4 = 4,65$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-бальной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

В данном разделе были рассмотрены следующие вопросы:

- произведен SWOT – анализ, который выявил, что сильных сторон у проекта гораздо больше, чем слабых, а это показывает о перспективности проекта в целом. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.
- разработан график занятости для исполнителей , составлена ленточная диаграмма , позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителей.
- рассчитана смета затрат на выполнение технического проекта, которые составили 76 тыс.руб.
- определен показатель ресурсоэффективности проекта, который имеет достаточно высокое значение – 4,65 ( по 5- бальной шкале).

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г2Б1	Холдин Дмитрий Викторович

<b>Институт</b>	<b>ИнЭО</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭПЭО</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	140400/140610.65

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	«Асинхронный электропривод осевого шахтного вентилятора»; - область применения – угольные шахты; - рабочая зона – рабочее место инженера-проектировщика в офисном помещении.
--	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- показатели микроклимата;</li> <li>- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>- действие фактора на организм человека;</li> <li>- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>- предлагаемые средства защиты;</li> <li>- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).</li> </ul>	<p><b>Анализ вредных факторов:</b></p> <p><b>Микроклимат</b> (ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»; СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»): Холодный период года: - температура воздуха <math>t = 22-24</math> °С; - относительная влажность воздуха 40-60%; - скорость движения воздуха 1 м/с.</p> <p>Теплый период года: - температура воздуха <math>t = 23-25</math> °С; - относительная влажность воздуха 40-60%; - скорость движения воздуха 1 м/с.</p> <p><b>Шум</b> (ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности»): допустимый уровень шумов для компьютерных залов 50 дБ. Защита: использование звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения.</p> <p><b>Вибрация</b> (ГОСТ 12.1.012 – 90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования», Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий») Защита: оборудование и приборы необходимо устанавливать на специальные фундаменты и амортизирующие прокладки</p> <p><b>Электромагнитное излучение</b> (ГОСТ 12.1.002 – 84 "Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах"): не более 50 см вокруг ВДТ (в пределах нормы).</p> <p><b>Недостаток освещения</b> (СП 52.13330.2011) Естественное и искусственное освещение. Нормированное значение освещённости рабочей поверхности для данной группы помещений составляет 300 лк.</p> <p><b>Психоэмоциональное напряжение</b> (ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация) Площадь на одно рабочее место должна быть не менее 6,0 м<sup>2</sup>, а объем не менее 24,0 м<sup>3</sup>.</p> <p><b>Анализ опасных факторов:</b> Опасные факторы отсутствуют по условию работы.</p>
--	---

<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p><b>Воздействие на селитебную зону</b> (СанПиН 2.2.1/21.1-1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов»): отсутствует.</p> <p><b>Воздействие на атмосферу</b> (ГН 2.1.5.2280-07 «ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования»): отсутствуют.</p> <p><b>Воздействия объекта на гидросферу</b> ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.</p> <p><b>4. Воздействия на литосферу</b> - отсутствуют</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Наиболее типичная ЧС для рассматриваемого помещения является пожар (Федеральный закон от 22.07.2013г. №213-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»). Для обеспечения безопасности приняты меры:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- установлена автоматическая пожарная сигнализация и система автоматического пожаротушения;</li> <li>- разработана инструкция по пожарной безопасности для работников;</li> <li>- помещения оснащены первичными средствами пожаротушения;</li> <li>- разработан план действий по эвакуации работников при пожаре;</li> <li>- назначено ответственное лицо при возникновении ЧС.</li> </ul>
<p><b>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Трудовой кодекс РФ, ст. 165 «Случаи предоставления гарантий и компенсаций»;</p> <p>Правило внутреннего трудового распорядка предприятия;</p> <p>Организационные мероприятий при компоновке рабочей зоны (ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности и настоящего стандарта»; ГОСТ 12.2.049-80 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.»).</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	к.х.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Холдин Дмитрий Викторович		

## **5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **5 Социальная ответственность**

#### **Описание рабочего процесса инженера – проектировщика**

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

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

## Введение

В настоящее время в производстве, научно-исследовательских и конструкторских работах, сфере управления и образования персональные ЭВМ (ПЭВМ) находят большое применение. Однако компьютер – не только квалифицированный помощник, но и источник вредного воздействия на организм человека, а, следовательно, источник профессиональных заболеваний. Это предъявляет к каждому пользователю персонального компьютера требование – знать о вредном воздействии ПЭВМ на организм человека и необходимых мерах защиты от этих воздействий.

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

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

## 5.1 Анализ вредных производственных факторов.

При работе с ПЭВМ и ВДТ инженер – проектировщик (программист) подвергается действию вредных производственных факторов:

- микроклимат
- шум
- освещение
- электромагнитное поле
- психоэмоциональное напряжение

Рассмотрим более подробно действие этих факторов.

### *Микроклимат помещений.*

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

Холодный период года:

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

Теплый период года:

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

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

Количество приточного воздуха при естественном проветривании должно быть не менее 30 м<sup>3</sup>/ч на одного человека, при объёме помещения приходящегося на него менее 20 м<sup>3</sup>. В исследуемом помещении имеется 9 рабочих мест, объём помещения составляет 29,25 м<sup>3</sup>, следовательно, на одного работающего приходится приблизительно 3,25 м<sup>3</sup>, что не обеспечивает

выполнение санитарных норм. Следовательно, наряду с естественной, следует применять искусственную (механическую) вентиляцию, например, установить кондиционеры.

*Производственный шум.*

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

Шумы на рабочих местах нормируются по ГОСТ 12.1.003-99.

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

Таблица 19

Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука

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

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

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

### Освещение.

Нормирование освещенности производится в соответствии со СНиП-23-05-95. В соответствии с задачами зрительной работы компьютерная лаборатория относится к первой группе, т. е. помещение, в котором производится различение объектов зрительной работы при фиксированном направлении линии зрения. Нормированное значение освещенности рабочей поверхности для данной группы помещений составляет 300 лк.

Требования к освещению ряда производственных помещений представлены в таблица 20.

Таблица 20

#### Нормируемые параметры естественного и искусственного освещения

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

Для обеспечения требуемого освещения произведем расчет искусственной освещенности. Искусственное освещение устраивается во всех основных и вспомогательных помещениях производственных зданий в соответствии со СНиП 23-05-95.

Помещение, в котором проводилась дипломная работа, имеет следующие параметры: ширина – 4,5 м, длина – 6,5 м, тогда его площадь составит 29,25 м<sup>2</sup>. В качестве источников искусственного освещения в лаборатории используются люминесцентные лампы типа ЛБ. Световой поток лампы типа ЛБ при напряжении питающей сети 220 В и мощности 40 Вт, составляет 2480 лк.

Согласно санитарно-гигиеническим требованиям рабочее место инженера-программиста должно освещаться естественным и искусственным освещением. По нормам освещенности, СНиП 23-05-95 и отраслевым нормам освещенности в лабораториях при работе с экраном дисплея и в сочетании с работой над документами над документами рекомендуется освещенность 300 лк при общем освещении.

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

Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами:

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

Принимаем высоту свеса светильника  $h_c = 0,5$  м и высоту рабочей поверхности  $h_p = 0,7$  м. Тогда высота подвеса светильника  $h_n$  над рабочей поверхностью равна:  $h_n = H - h_c - h_p$ , где  $H$  – высота помещения (4 м).

$$h_n = 4 - 0,5 - 0,7 = 2,5 \text{ м.}$$

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

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

где  $E_n$  – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, (500 лк);  $S$  – площадь освещаемого помещения,  $m^2$ ;  $K_3$  — коэффициент запаса учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т.е. отражающих поверхностей), (наличие в атмосфере цеха дыма, пыли);  $Z$  - коэффициент неравномерности освещения, отношение  $E_{cp} / E_{min}$ . (для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1);  $n$  - число светильников;  $\eta$  - коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность (из таблицы принимаем равным 0,63). Он зависит от индекса помещения  $i$ , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью  $h$  и коэффициентов отражения стен  $p_c$  и потолка  $p_n$ .

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

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

Для определения  $Z$  нужно знать отношение между величинами:  $h_n$  и  $L$ . С учетом, что  $L / h_n = 1,2$ , получим  $Z = 1,1$ .

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

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

Следовательно, величина коэффициента помещения составит:

$$i = 29,25 / 2,8 * (4,5 + 6,5) = 0,95$$

Соответственно освещенность  $E_H$  составит:

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

$$E_H = 2480 \cdot 8 \cdot 0,63 / 1,1 \cdot 29,25 \cdot 1,5 = 258 \text{ лк.}$$

Минимальная освещенность при использовании ЭВМ и одновременной работе с документами составляет 300 лк. А так как освещения не достаточно, то необходимо установить возле каждого компьютера по настольной лампе, с лампочкой, мощностью не менее 60 Вт.

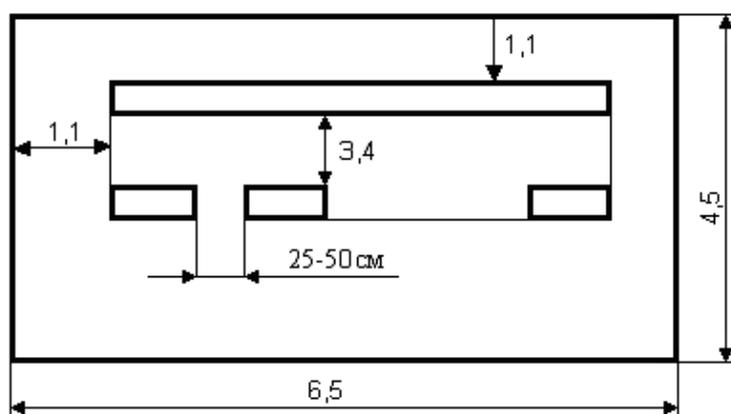


Рисунок .41. План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

#### *Психоэмоциональное напряжение.*

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

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

Для предупреждения развития переутомления обязательными мероприятиями являются:

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

### *Электромагнитное поле (ЭМП)*

ЭМП обладает способностью биологического, специфического и теплового воздействия на организм человека, что может повлечь следующие последствия: биохимические изменения в клетках и тканях; нарушения условно-рефлекторной деятельности, снижение биоэлектрической активности мозга, изменения межнейронных связей, отклонения в эндокринной системе; вследствие перехода ЭМП в тепловую энергию может наблюдаться повышение температуры тела, локальный избирательный нагрев тканей и др. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03:

- Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более:
- В диапазоне частот 5Гц-2кГц – 25 В/м;

- В диапазоне частот 2кГц/400кГц - 2,5 В/м.
- Плотность магнитного потока должна быть не более:
- В диапазоне частот 5Гц-2кГц – 250 нТл;
- В диапазоне частот 2кГц/400кГц - 25нТл.

## 5.2 Техника безопасности.

Техника безопасности – это система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих воздействие на работающих опасных производственных факторов, предусматривающая обеспечение безопасности производственного оборудования и производственных процессов, внедрение новых машин, механизмов, инструмента, сконструированных с соблюдением всех требований охраны труда; установление блокирующих устройств, применение средств коллективной и индивидуальной защиты.

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

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

Причины поражения человека электрическим током:

- непосредственное прикосновение к токоведущим частям;
- прикосновение к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением;

- соприкосновение с полом, стенами и конструктивными деталями помещений, оказавшихся под напряжением;
- поражение через электрическую дугу при приближении к открытым токоведущим частям.

### **5.3 Пожарная безопасность.**

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

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

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



Рисунок 42. План эвакуации людей и оборудования.

#### 5.4 Охрана окружающей среды.

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

должен соблюдать требования: эргономики, пожарной и электрической безопасности.

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

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

## **5.5 Чрезвычайные ситуации.**

### **Поведение объекта в ЧС**

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

### ***Правила поведения при пожаре***

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

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

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

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

если в здании прозвучал сигнал тревоги, нужно немедленно покинуть помещение согласно плану эвакуации; из помещений нижних этажей можно эвакуироваться самостоятельно через окна, балконы и с помощью подручных средств (веревки, простыней, ремней и проч.); лифты при пожарах использовать нельзя;

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

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

выходить из зоны пожара нужно в наветренную сторону.

### *Меры, необходимые для повышения устойчивости при ЧС*

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

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

проводить мероприятия по обеспечению устойчивой работы объектов народного хозяйства достаточно проблематично.

На устойчивость объектов влияют следующие факторы:

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

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

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

## **5.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Под вредными условиями труда следует понимать присутствие на производстве таких факторов, которые наносят ущерб здоровью работников. То есть на рабочих местах не соблюдены определенные гигиенические требования, что может оказывать отрицательное воздействие на дееспособность служащих, а также на здоровье их возможных детей.

Работникам предприятия приходится часто выполнять различные операции, сопряженные с прямым риском здоровью (вредные условия труда). Какие сферы деятельности и специальности связаны с вредными условиями труда, указывается в постановлении РФ, должности с вредными условиями труда в нефтяной промышленности и строительстве, на меры социальной поддержки, Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда» [38].

Люди, работающие на вредных производствах, обеспечиваются льготами и компенсациями, Трудовой кодекс РФ, ст. 165 «Случаи предоставления гарантий и компенсаций».

Компенсация за вредные условия труда и ее размер устанавливаются на основании статей Трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия.

Грамотная социальная политика - ключ к успеху предприятия, ведь эффективность работы напрямую зависит от эмоционального комфорта и позитивного настроения коллектива.

Эффективная социальная политика и ответственные, партнерские отношения со своими работниками, являются важнейшими факторами долгосрочного устойчивого развития компании. Максимальная безопасность производства и забота о благосостоянии сотрудников были и остаются основными составляющими социальных программ.

Ежегодно на социальные программы предприятие выделяет средства. Сюда входит:

- организация санаторно-курортного лечения, оздоровление работников

и их детей;

- оказание медицинских услуг;
- развитие корпоративного спорта и культурно-массовой деятельности;
- материальное поощрение работников к юбилеям и знаменательным датам;
- материальная помощь работникам, нуждающимся в дополнительной социальной поддержке;
- единовременные компенсационные выплаты увольняющимся работникам в связи с выходом на пенсию;
- пенсионные социальные программы, предусматривающие досрочное оформление пенсии работникам;
- выплаты ежеквартальной материальной помощи для частичного покрытия расходов по квартплате, коммунальным услугам, приобретению угля на зимний период, а также единовременной материальной помощи на оплату медикаментов и т.д.

Сотрудники предприятия имеют ряд социальных гарантий, а также спектр финансовых льгот, таких как социальное страхование, кредитование, материнские выплаты. Предусмотрено бесплатное обучение в ВУЗах, регулярное повышение квалификации.

### **Заключение**

В данном пункте проанализированы опасные и вредные факторы на предприятии, рассмотрена экологическая безопасность и безопасность в чрезвычайных ситуациях. Произведен расчет устройства защитного заземления рассматриваемого оборудования. В целом можно сказать, что риск для жизни и здоровья сотрудников сведен к минимуму.

## Заключение

В квалификационной выпускной работе был спроектирован частотно – регулируемый электропривод вентилятора шахтного местного проветривания.

В процессе работы для регулирования скорости вращения вентилятора был спроектирован современный асинхронный частотно-регулируемый электропривод.

Рассчитаны электромеханические и механические характеристики выбранного двигателя асинхронного, построенные по расчетным и каталожным значениям. В качестве закона управления, выбран закон регулирования  $\frac{U_{1j}}{f_{1j}^2} = const$ . Для увеличения пускового момента на низких

скоростях до требуемых значений реализована возможность подстройки вольт – частотной характеристики.

Также совершено моделирование переходного процесса при пуске эл.двигателя в программной среде MatLab Simulink. С использованием имитационных моделей рассчитаны характеристики динамические.

В следствии применения ЧРП значительно уменьшаются расходы эксплуатационные. При изменении частоты вращения, производительность вентилятора также изменится, создаваемое давление изменится в два раза, а мощность потребляемая в три раза. КПД вентилятора остается постоянным. Этот способ управления является наиболее экономически выгодным.

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

## Список использованных источников

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

12. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: учебник для вузов.–М.: Высшая школа, 2001 – 327 с.
13. Волкова Л. Методика проведения SWOT-анализа // [http://market.narod.ru/S\\_StrAn/SWOT.html](http://market.narod.ru/S_StrAn/SWOT.html).
14. Криницына З.В., И.Г. Видяев Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
15. Криницына З.В. Ресурсоэффективность отрасли: Учебное пособие /З.В.Криницына. – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2013. – 182 с.
16. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно – регулируемых асинхронных электроприводах.–Чебоксары: Изд-во Чуваш. Ун-та,1998.–172с.
17. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. управление электроприводами: учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат: Ленинград отд – ние, 1982.–392 с.
18. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»
19. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. Сибирское университетское издательство, 2011 г.
20. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. №328 н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»
21. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и но- менклатура видов защиты.
22. «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок» утверждены Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 24.07.2013 №328н.
23. РД 153-34.0-03.150-00 «Межотраслевыми правилами по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок»

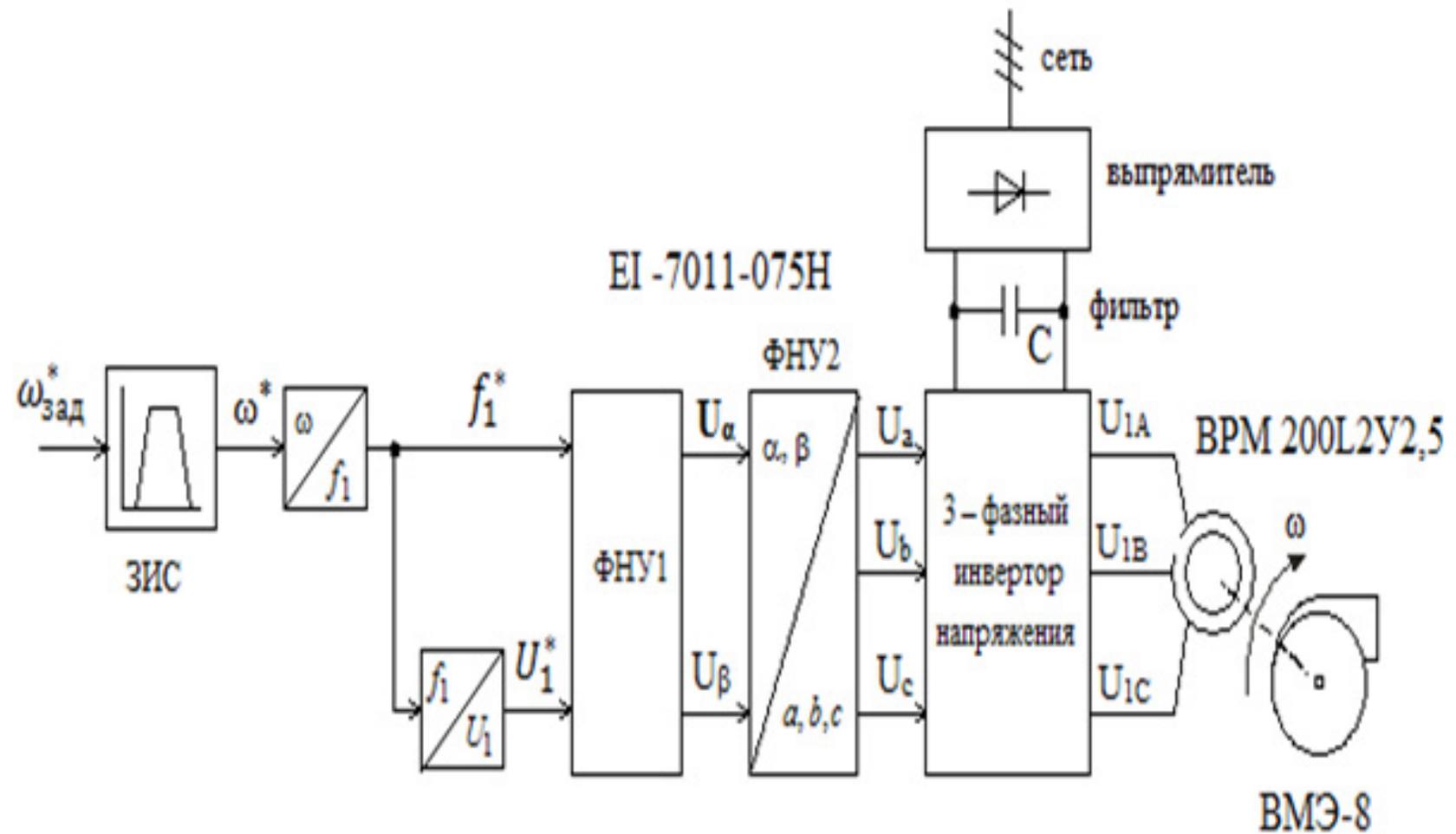
24. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
25. СанПиН 2.2.4.584-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
26. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
27. СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
28. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности»
29. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. «Средства и методы защиты от шума. Квалификация»
30. СН 2.2.4/2.1.8.556 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»
31. СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»
32. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение»
33. ГОСТ 17.1.3.13-86. «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений»
34. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов»
35. ГН 2.2.5.2308-07. «Ориентировочна безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны»
36. ГОСТ Р 22.0.07-95 «Безопасность в ЧС. Источники техногенных ЧС. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров»
37. ФЗ от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера»
38. ГОСТ Р 22.3.03-94. «Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения»
39. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №213-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

40. РД 153-34.0-03.301-00. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий.
41. Постановление Правительства РФ от 29.03.2002 г. №188 «Об утверждении списков производств, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право гражданам, занятым на работах с химическим оружием, на меры социальной поддержки»
42. Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда»
43. О.Б. Назаренко, А.Г. Дашковский. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения.
44. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

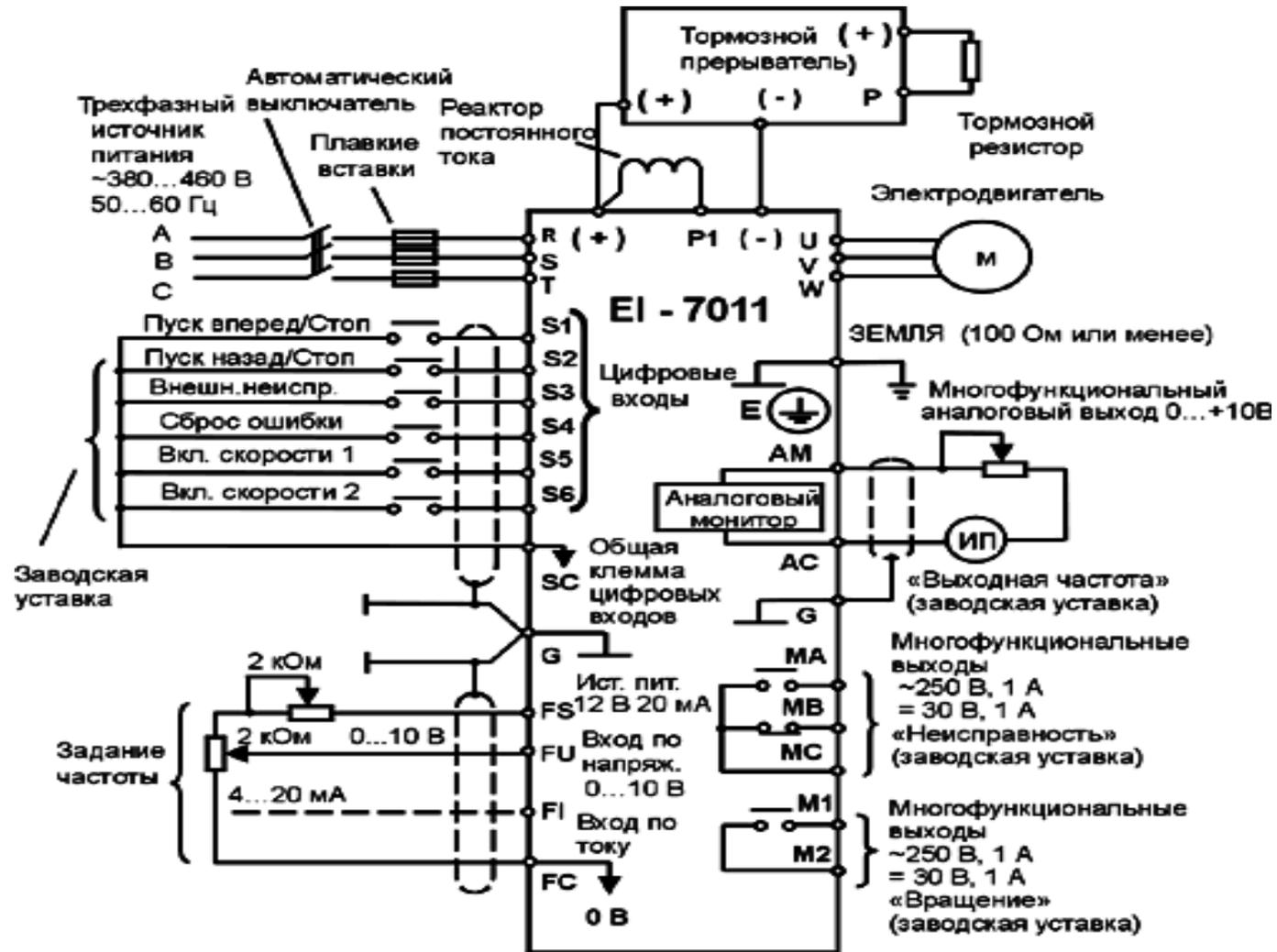
## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Графический материал

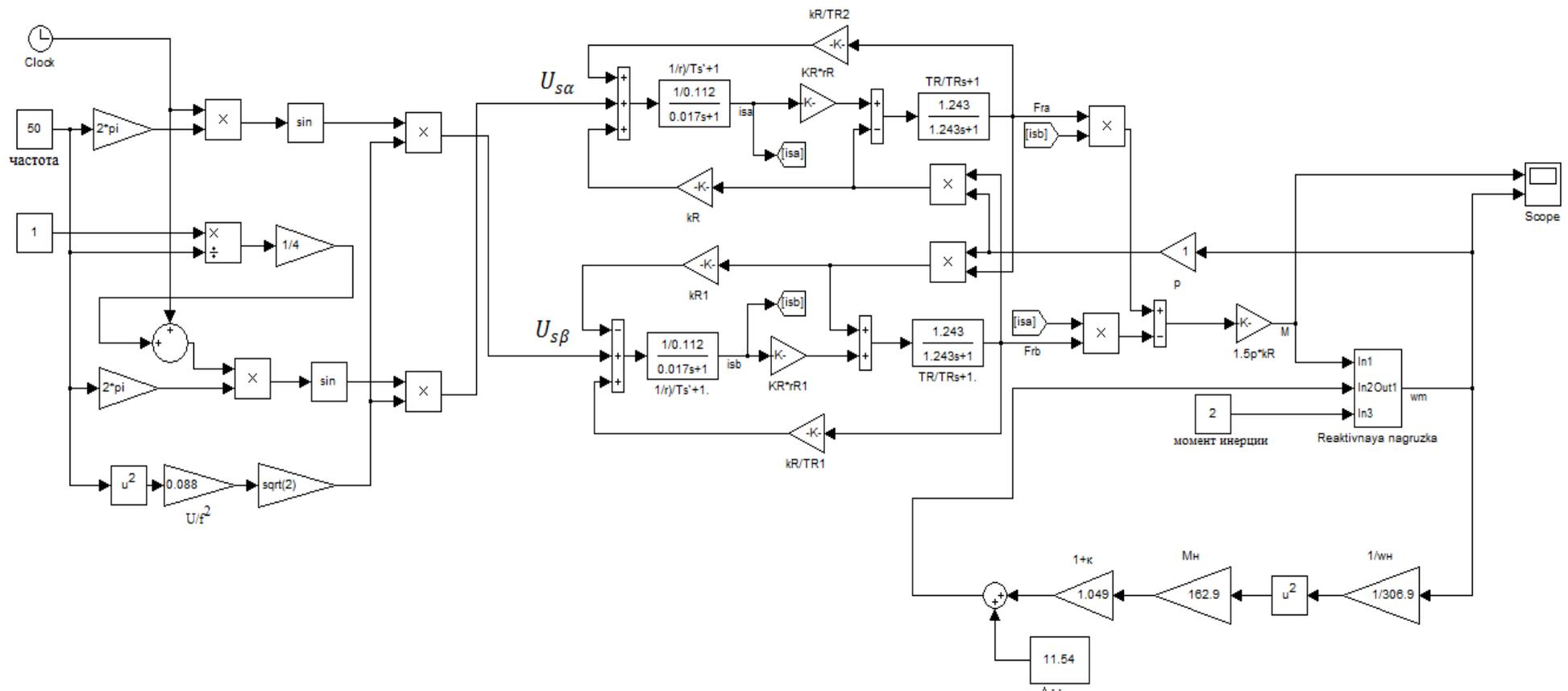
Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

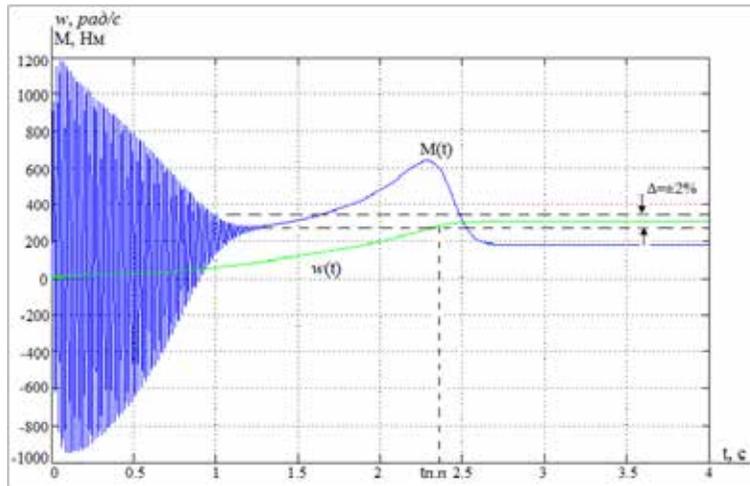


## Схема подключения преобразователя частоты

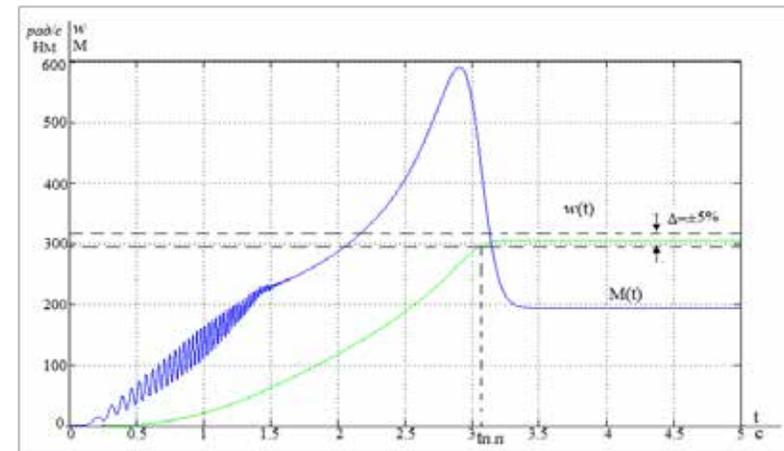


ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ В НЕПОДВИЖНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ И ВЕНТИЛЯТОРНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ЗАКОНЕ  $U_1/f_1^2 = const$

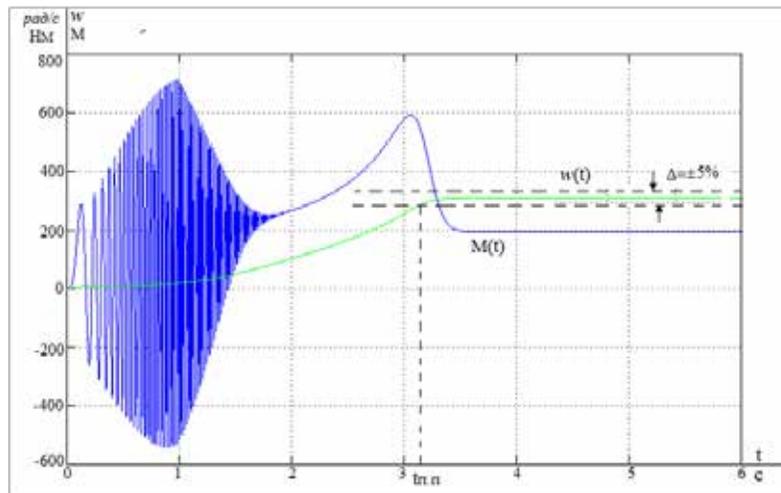




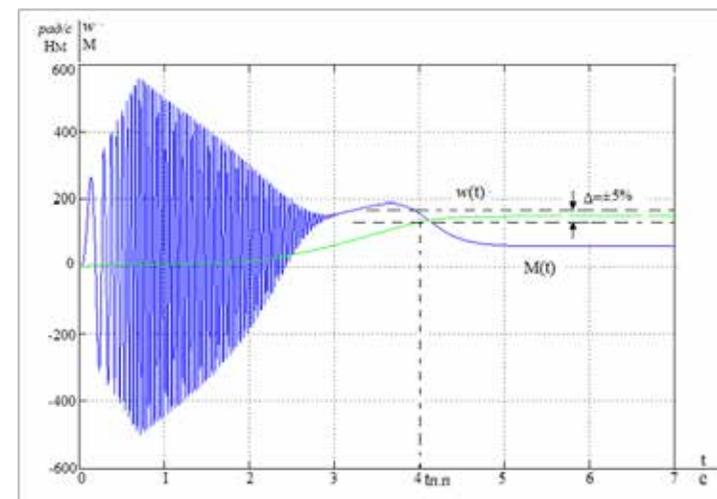
Результаты моделирования АКЗ в неподвижной системе координат



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



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



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

### Диаграмма Ганта

№ этап работ	Вид работ	Исполнители	Продолжительность одной работы дн.	Продолжительность выполнения работ по декадам												
				Фев.	Март			Апрель			Май			Июнь		
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1		
1	Составление ТЗ	Р	1	-												
2	Изучение литературы	Д	10		—————											
3	Сбор исходных данных	Д	10			—————										
4	Подготовка и ввод данных в ЭВМ	Д	10				—————									
5	Расчет на ЭВМ нагрузок вентилятора	Д	15					—————								
6	Выбор оборудования	Д	5						———							
		Р	1								———					
7	Расчет элементов электропривода, построение характеристик	Д	15						—————							
		Р	1										———			
8	Проверка правильности выбора оборудования	Р	15								—————					
		Д	1											———		
9	Оформление пояснительной записки	Д	10										—————			
10	Сдача проекта	Р	1												———	
		Д	1													———

