

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

---

Инженерная школа энергетики  
Отделение электроэнергетики и электротехники

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Электропривод вентилятора по системе ГРН-АД</b>

УДК 62-83:621.63

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Цэдэн Хишгээ		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Воронина Н.А	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Е.С.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Тютеева П.В.	К.Т.Н		

Томск – 2020 г.

### 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

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

Инженерная школа энергетики  
Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Тютева П.В.  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Цэдэн Хишгээ

Тема работы:

**Электропривод вентилятора по системе ТРН-АД**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 59-78/с / от 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2020

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*Объектом исследования является регулируемый электропривод вентилятора по системе ТРН - АД. В качестве исходных данных представлены:*

- Производительность вентилятора  $Q = 45 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;
- Напор – 2300Па;
- Диапазон регулирования частоты вращения – не менее  $D_\omega = 1 - 2,8$ ;
- Параметры питающей сети: 3-х фазная сеть 380/220В, 50Гц;
- КПД вентилятора – 0,65;
- Коэффициент запаса -  $K_3 = 1,1$ ;
- Скорость вращения вала двигателя 2870 об/мин;
- Тип механизма – центробежный вентилятор главного проветривания производственных помещений.

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<i>Исследование регулируемый электропривод вентилятора по системе тиристорного регулятора напряжения;</i> <i>Расчет и выбор силового оборудования;</i> <i>Построение механических и электромеханических характеристик;</i> <i>Моделирование переходных процессов.</i>
<b>Перечень графического материала</b>	<i>Презентация</i>

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Социальная ответственность	Ассистент отделения общетехнических дисциплин Немцова О.А.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент отделения менеджмента Киселева Е.С.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	12.02.2020
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Воронина Н.А.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5А6Ж	Цэдэн Хишгээ		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5А6Ж	Цэдэн Хишгээ

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Электроэнергетика и Электротехника
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электропривод и Автоматика

Тема ВКР:

<b>Электропривод вентилятора по системе ТРН-АД</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Помещение закрытого типа с естественной вентиляцией воздуха. В помещении присутствует искусственное и естественное освещение. Основное рабочее оборудование – Тиристорный – регулируемый электропривод.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	<i>1) ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности. 2) N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» 3) ГОСТ 12.2.032-78. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».</i>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<i>Поражение электрическим током, вращающимися элементами электропривода, повышенный уровень шума, вибрации, отклонение параметров микроклимата, освещение недостаточная освещенность рабочей зоны.</i>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<i>вредные выбросы в атмосферу, вредные выбросы в литосферу, вредные выбросы в гидросферу.</i>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<i>Наиболее вероятная ЧС в здании в момент проведения исследования – пожар и электропоражение</i>

--	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент	Немцова О.А			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5А6Ж	Цэдэн Хишгээ		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5А6Ж	Цэдэн Хишгээ

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетики	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Электроэнергетика и электротехника
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

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

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика проекта; Формирование бюджета затрат на научное исследование.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Оценка эффективности разработки проекта.

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

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5А6Ж	Цэдэн Хишгээ		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 114 страниц 48 рисунков и 27 таблицы, 30 использованных источников.

Объектом исследования является электропривод приточного вентилятора на базе системы «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный электродвигатель».

Цель работы: выбор и конструирование силовой схемы и элементов электропривода, вентилятора, рассчитать параметры электродвигателя, исследовать работу системы при прямом и плавном пуске.

Ключевые слова: тиристорный регулятор напряжения, вентилятор, асинхронный двигатель.

ВКР выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 на белой бумаге формата А4 с использованием программ MathCAD14 и MatlabR2019.

## **Обозначения и сокращения**

АД – асинхронный двигатель;

ТП – тиристорный преобразователь;

ТРН – тиристорный регулятор напряжения;

ЭП – электрический привод;

ПЧ - преобразователь частоты;

УПП - устройство плавного пуска;

ДН – датчик напряжения;

ДТ – датчик тока;

Д $\theta$  – датчик температуры;

УМ - усилители мощности сигналов управления;

СЧ - силовая часть;

КМ – контакторы;

ИП - источник питания;

ЭМТ - электромагнитный тормоз;

БЛ - блок логики;

СИФУ - системы импульсно-фазового управления;

ТГ – тахогенератор;

БКАС - блоки коммутации аналоговых сигналов;

БКДС - блоки коммутации дискретных сигналов;

БВР - блок выбора режимов;

ТБ - технологическая блокировка;

ПУ - пульт управления;

ДУ - дистанционное управление.

## Содержание

Введение.....	9
1. Общие сведения.....	11
1.1. Классификация вентиляторов .....	11
1.2. Требования к электроприводам центробежных вентиляторов .....	17
1.3. Анализ основных способов регулирования угловой скорости вала для данного типа механизма.....	22
1.4. Принцип работы ТРН – АД технические и эксплуатационные характеристики .....	29
1.5. Устройства плавного пуска и их функции.....	31
1.6. Проблемы построения замкнутых систем управления ЭП по схеме ТРН – АД .....	35
2. Расчет и выбор силового оборудования электропривода.....	39
2.1. Выбор электродвигателя .....	39
2.2. Выбор преобразовательного устройства для системы регулируемого привода .....	40
2.3. Расчет и выбор сечения кабеля защитной аппаратуры для силовой части электропривода .....	42
3. Проектирование каналов измерения (выбор датчика тока, температуры, напряжения).....	44
3.1 Канальный датчик температуры QAM21.20.....	44
3.2 Датчик напряжения LV 25-P .....	45
3.3 Датчик тока НУ 05...25P .....	47
4. Статические характеристики погружного двигателя .....	50
4.1 Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя .....	50
4.2 Расчет естественных характеристик.....	52
4.3 Расчет искусственных характеристик .....	54
4.4 Расчет статической нагрузки электропривода.....	57
4.5 Расчет энергетических показателей электропривода .....	58
5. Динамические характеристики электропривода .....	60
5.1 Исследование прямого пуска АД от сети .....	60
5.2 Исследование прямого пуска АД с вентиляторной нагрузкой .....	68
5.3 Имитационная модель плавный пуск АД с помощью ТРН замкнутой системы .....	69
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	74
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	74
6.2 Производственная безопасность.....	75
6.3 Экологическая безопасность.....	80
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	82
7. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	85
7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	86
7.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	95
7.3 Определение ресурсоэффективности проекта.....	106
Заключение .....	109
Список литературы .....	111

## Введение

Еще в ранние времена применялись попытки организовать вентиляцию закрытых помещений. М.В. Ломоносов впервые разработал теорию о том, как организовать естественное движение воздуха по трубам и каналам.

В первой половине 19 века были созданы устройство вентиляции с использованием тепловых процессов в помещениях. Исследователи пришли к выводу, что этот способ не был идеальным, из-за больших тепловых потерь.

Появление центробежных вентиляторов привело к быстрому развитию технологий передачи воздушных потоков. В 1832 году А. Саблуков успешно провел испытания первых экземпляров этих устройств. Три года спустя, в 1835 году, эти системы были запущены шахтах Чагирского бассейна на Алтае. В результате к концу 19-го века вентиляция с механическим способом функционирования стала широко использоваться. Одним из видных ученых в этой области был профессор В. М. Чаплин. В 1902 году изобретатель из США Уиллис Карриер сконструировал аппарат, делающий воздушные массы более холодными.

Одним из этапов развития данного направления техники было появление появление электродвигателей с регулируемой скоростью. Первое упоминание о вентиляторе с таким двигателем было отмечено в 1972-1974 годах, когда компания “Каналфлэкт” использовала его в канальном вентиляторе.

Существует много производственных механизмов, где рекомендуется реализовать его автоматизацию на основе устройства плавного пуска (УПП): вентиляторы, компрессоры, насосы, воздуходувки, конвейеры, прядильные машины и другие. Основная функция приложения плавного пуска заключается в уменьшении ударной нагрузки на сеть и уменьшении воздействия на соседнюю нагрузку и механического перенапряжения при запуске двигателя.

В настоящее время электрическая промышленность быстро развивается с использованием микропроцессорных устройств плавного пуска для

асинхронных двигателей.

На данном этапе в регулируемых электроприводах постоянного и переменного токов в качестве источников питания чаще всего используются тиристорные преобразователи, обладающие практически неограниченной мощностью управления и хорошими технико–экономическими показателями. Они являются универсальным средством преобразования переменного напряжения питающей сети в регулируемые переменное и постоянное напряжения. Разработана и массово выпускается широкая номенклатура комплектных тиристорных электроприводов, состоящих из согласованных по своим характеристикам составных элементов, узлов и устройств изучаемых структур [1].

Темой выпускной квалификационной работой является исследование, расчет и моделирование регулируемого асинхронного электропривода центробежного вентилятора.

## 1. Общие сведения

### 1.1. Классификация вентиляторов

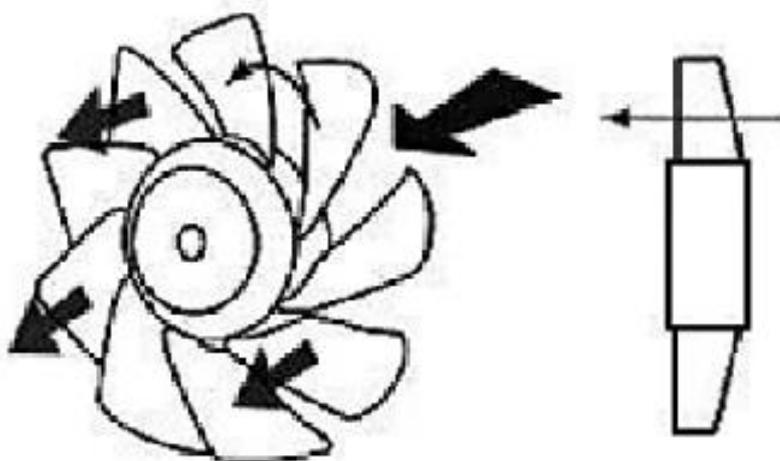
Вентиляторами называются воздуходувки, предназначенные для перемещения и подачи воздуха по вентиляционным трубопроводам к потребителям. Обычно этот агрегат представляет собой ротор с лопастями. Когда он вращается, лопасти сталкиваются с воздухом, выбрасывают и смешивают его. Направление подачи воздуха зависит от формы лопастей и их положения.

Их применяют в системах вентиляции, кондиционирования воздуха, воздушного отопления, для подачи воздуха в топку котлов, создания воздушной подушки судов и т. д.

Типы вентиляторов:

- Осевой (аксиальный).
- Центробежный (радиальный).
- Вентилятор диаметрального сечения (тангенциальный).

Осевой (аксиальный) вентилятор – его лопасти (или "лопатки") перемещают воздух вдоль оси вращения. Этот тип конструкции отличается от всех других, благодаря тому, что в нем совпадают направления впуска и выпуска воздуха, а также он прост в изготовлении и использовании (рис.1.1).



*Рис.1.1. Осевой вентилятор*

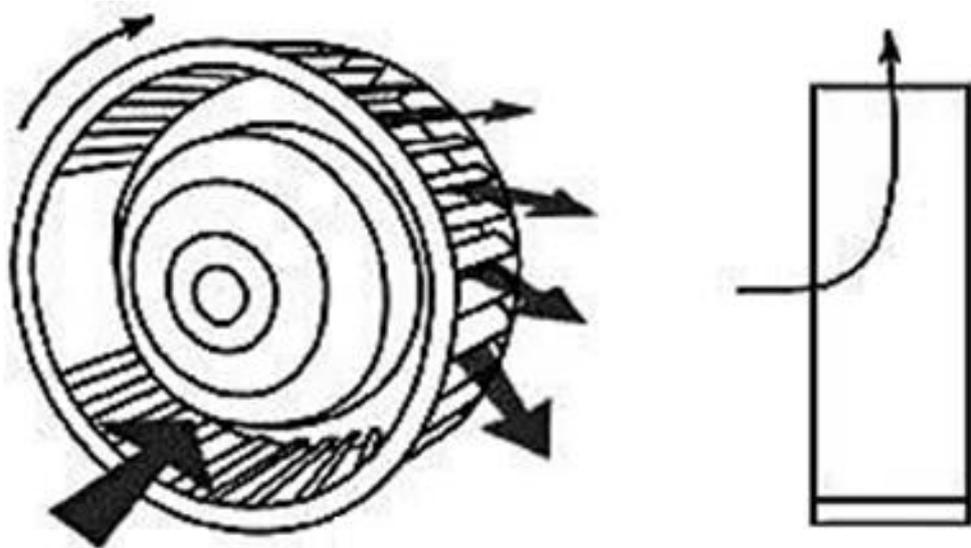
Преимущество осевых вентиляторов:

- высокие средневзвешенные статические КПД (0,76 - 0,77 против 0,74 – 0,76 у большинства центробежных вентиляторов);
- значительная глубина регулировки давления (0,68-,079) за счет поворота лопаток рабочих колес и направляющих аппаратов;
- удобство их включения на последовательную работу;
- малые в поперечном сечении габариты;
- простота реверсирования воздушной струи.

Недостатки:

- кривая давления в форме седла или с разрывами, которая характеризует нестабильную работу вентиляторов, особенно при параллельном соединении;
- большие размеры в длину;
- подшипники ротора не могут быть проверены, что снижает надежность установки;
- громкий шум при работе на скоростях 90–95 м / с и, более того, уровень звукового давления 55–60 дБ на расстоянии 150 м от установки уже достигается при периферийных скоростях 80–85 м / с;
- высокая чувствительность к точности балансировки ротора.

Центробежный (радиальный) вентилятор – ротор этого устройства состоит из спиральных лопастей. Воздух втягивается в это устройство через отверстие на входе, в котором он приводится во вращение. Благодаря центробежной силе и форме лопастей поток направляется к специальному выходу спирального корпуса. Другими словами, впрыскиваемый воздух расположен под прямым углом к входящему. В промышленности такие вентиляторы очень популярны (рис.1.2).



*Рис.1.2. Центробежный вентилятор*

Преимущества центробежных вентиляторов:

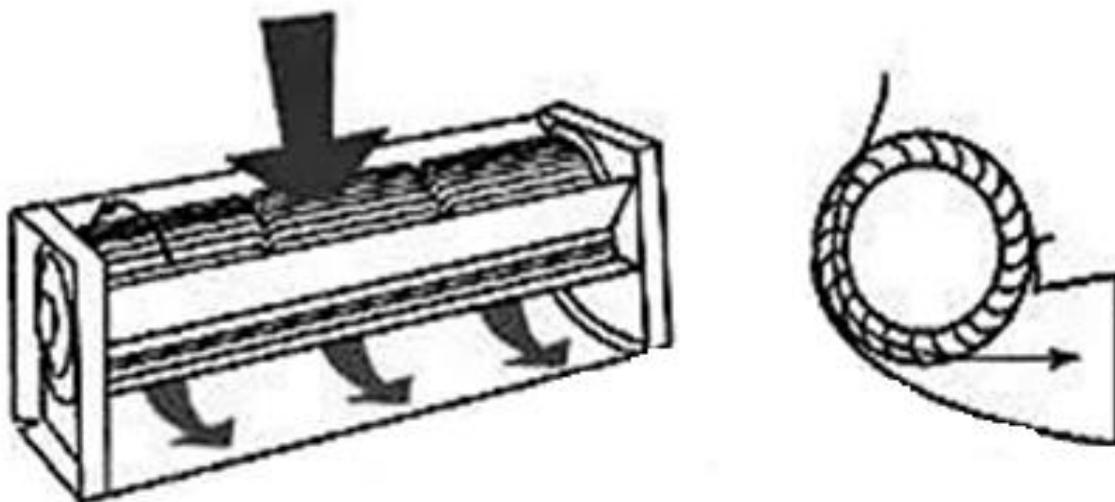
- монотонная кривая давления для обеспечения стабильной работы;
- возможность получить большее давление, чем осевой вентилятор;
- ниже уровня шума осевых установок при одинаковых угловых скоростях;
- доступность ротора для осмотра (это повышает надежность, и увеличивает их максимальный статический КПД).

Недостатки:

- затруднение в реверсировании воздушного потока (с помощью обводных каналов);
- при высокой подаче и низком давлении частота вращения должна быть незначительной, что в некоторых случаях требует установки редуктора между вентилятором и двигателем;
- высокий момент инерции ротора (например, для ВВД-50 он составляет 103000, а для ВЦД47,5А — 206000), что осложняет пуск машины;
- малая глубина регулирования давления по сравнению с осевым (0,52—0,55, кроме машин с переменной скоростью вращения ротора);
- большая площадь поперечного сечения.

Вентилятор диаметрального сечения (тангенциальный) - ротор данного устройства представляет собой "беличью клетку", т.е. лопасти расположены

вдоль периферии, а сам ротор в центре пуст (рис.1.3). Он представляет собой длинный продолговатый цилиндр, в котором вместо стенки имеются лопасти согнуты вперед. Рабочее колесо, имеющее форму диффузора, схожего по конструкции с центробежным вентилятором, встроено в корпус установки. Единственное отличие состоит в том, что ротор заметно длиннее и воздух забирается по всей его длине от передней части объекта, а не только от его конца. Лопасти принимают воздушную массу, а диффузор ускоряет их в нужном направлении. Преимущество таких машин в том, что они довольно тихие во время работы и создают поток, равномерно распределенный по всей длине ротора. Давление в таких устройствах значительно ниже, они большие, что обеспечивает большой поток воздуха. Низкий напор этих вентиляторов не позволяет глубокую фильтрацию воздуха. Они широко используются в фанкойлах, кондиционерах и аналогичных устройствах, в которых напор воздуха не так важно.

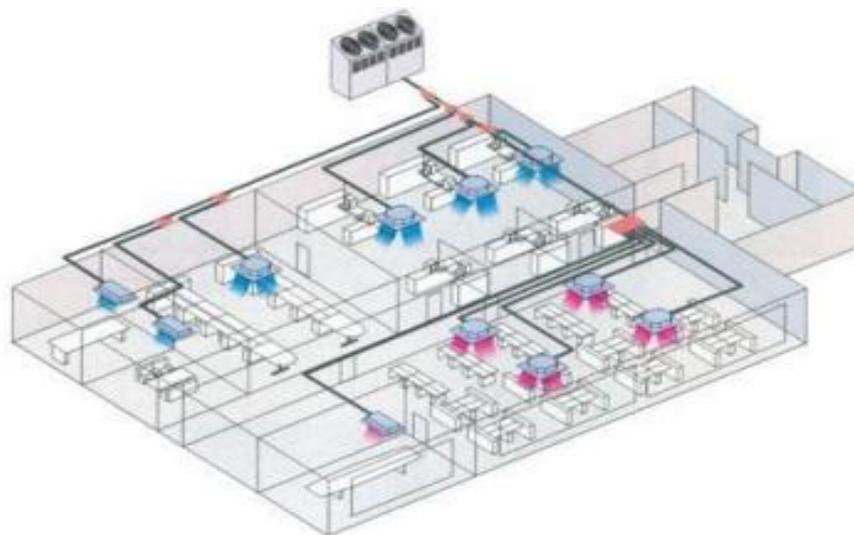


*Рис.1.3. Вентилятор диаметального (тангенциального) сечения*

Вентиляторы по исполнению подразделяются на:

- Многозональные.
- Канальные (прямоточные).
- Крышные.

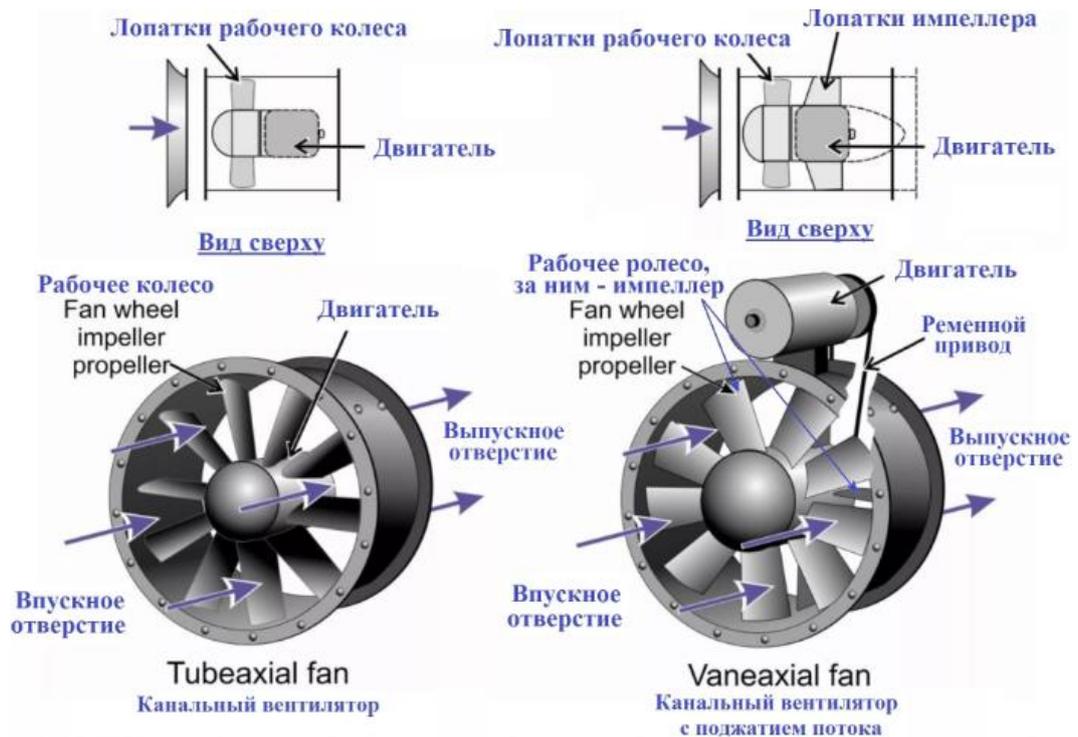
Большим преимуществом многозональных вентиляторов является подключение сразу нескольких воздуховодов на всасывающую сторону, которые смогут обеспечить воздухом сразу несколько различных зон. (рис.1.4). Ею может быть комната, часть помещения или обыкновенный вентиляционный канал. Таким образом, эти типы вентиляторов позволяют создавать воздухообмен одновременно в нескольких зонах, используя один общий нагнетатель. Установка одного многозонального вентилятора уменьшает капитальные затраты на созданием и монтаж оборудования, позволяет унифицировать комплектующие материалы, что приводит к максимальной оптимизации затрат на электропитание.



*Рис.1.4. Схема многозонального включения вентилятора*

Канальный вентилятор (прямоточный) — однокорпусное устройство, с электродвигателем соединенных одним валом и дополнительными прокладками для защиты от виброизноса. Обычно монтируются в вентиляционных каналах с круглым или прямоугольным сечением (рис.1.5). Он может иметь один или два всасывающих патрубка, лопатки могут быть как вогнутыми, так и выпуклыми, в зависимости от создаваемого давления. По своему типу вентилятор может быть осевым, радиальным (центробежным) и многоступенчатым. Корпуса таких установок обычно изготавливаются из оцинкованной стали или специального пластика или их комбинации. Вентиляторы имеют небольшие размеры и устанавливаются главным образом

непосредственно в сети воздуховодов, интегрированы в каналные системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Такие машины обычно покрыты подвесными потолками или монтируются в специальные вертикальные шкафы. Особых рекомендаций по размещению нет, поэтому их можно использовать в любом положении (наклонно, вертикально или горизонтально). Компактность таких устройств при значительных показателях расхода воздуха, дают им хорошее преимущество.



*Рис.1.5. Канальное исполнение вентилятора*

Крышные вентиляторы (вытяжной) – они устанавливаются непосредственно на крыше здания, благодаря специальной раме, имеют высокую прочность и устойчивость к атмосферным явлениям (рис.1.6). В связи с тем, что данные узлы расположены на улице и меняются погодные условия, они предъявляют высокие требования к устойчивости к пыли и влаге. Поэтому они обычно изготавливаются из нержавеющей стали и покрываются эпоксидной коррозией. Такое оборудование может использоваться для специальных функций в высокотемпературных конструкциях, например, от котлов или каминов и для общих систем вентиляции.



*Рис.1.6. Крышное исполнение радиального вентилятора*

## **1.2. Требования к электроприводам центробежных вентиляторов**

Примерно 25% мирового производства электроэнергии используется для электропривода турбинных машин (компрессоров, насосов и вентиляторов). Техническое совершенство и экономичность электроприводов этих устройств в значительной степени определяют рациональное использование электроэнергии. Под эффективностью электроприводов следует понимать не только его самую низкую стоимость и высокие энергетические показатели, но и его регулируемость. Мощность этих механизмов лежит в весьма широких пределах — от единиц до десятков тысяч киловатт [2].

Основными особенностями рассматриваемых объектов, с точки зрения условий эксплуатации электропривода является:

- длительный режим работы;
- зависимость момента нагрузки и мощности на валу от скорости вращения;
- ограниченный диапазон регулирования скорости вращения;
- отсутствие реверсов, торможений и перегрузок.

Наилучшими регулировочными качествами обладают приводы постоянного тока. Они обеспечивают плавное и достаточно экономическое регулирование скорости в любых заданных пределах, не требуют силовой контакторной аппаратуры. Однако для турбомеханизмов системы привода с двигателем постоянного тока (ДПТ) не нашли широкого применения, что объясняется их значительной первоначальной стоимостью и большей сложностью эксплуатации. Высокая величина капитальных затрат связана с тем, что ДПТ дороже машин переменного тока, а для их питания и регулирования скорости требуются преобразователи переменного тока в постоянный с регулируемой величиной его напряжения на полную мощность привода. Поскольку турбомеханизмы, как правило, не требуют глубокого регулирования скорости, то применение приводов с двигателями постоянного тока для них в большинстве случаев нецелесообразно.

До недавнего времени для привода турбомеханизмов применялись большей степени нерегулируемые электроприводы на базе синхронного и асинхронного двигателя. Совершенствование и разработка новых средств электропривода: электродвигателей, полупроводниковых преобразователи и регуляторов, а также систем управления на их основе создали материальные предпосылки для массового регулируемых электроприводов устройств различного назначения в том числе и центробежных вентиляторов.

Причины использования регулируемых систем:

- высокий эксплуатационный КПД установок;
- рост качества продукции за счет регулирования и оптимизации технологического процесса;
- возможность полной автоматизации производственных процессов;
- увеличение единичных мощностей турбомеханизмов.

Вентиляторы среди турбомеханизмов находятся на втором месте после насосов по распространению в промышленности. Больше количество из них доводится до устройств санитарного назначения, которые осуществляют кондиционирование воздуха в производственных и других помещениях.

Мощность этих установок относительно мала (до 100 кВт), но на их долю приходится значительная величина энергопотребления.

Градири на металлургических и химических заводах используют мощные вентиляторы для усиления интенсивности охлаждения воды. Их минимальная скорость рабочего колеса не превышает 600 об/мин.

Ограничение допустимой скорости концов лопастей рабочего колеса заставляет с увеличением его диаметра уменьшать номинальную частоту вращения. Данные установки имеют высокий момент инерции, иногда на порядок и более превосходящий этот параметр приводного двигателя, что затрудняет их запуск, а в некоторых случаях требуется использование электрического торможения для резкой остановки рабочего колеса.

В общем случае характеристики турбомеханизмов определяются уровнем напора, м,

$$H = A_2 n^2 + B_2 nQ + C_2 Q^2,$$

где  $Q$  - подача,  $\text{м}^3 / \text{с}$ ;  $A_2, B_2, C_2$  - коэффициенты.

Характеристики вентилятора для подачи воздуха описываются аналогичным уравнением с разностью давлений на входе и выходе,  $P_t$  Па, в левой части.

Характеристики сети при работе вентилятора на сеть противодействия ( $H_c = 0$ ) определяется формулой

$$H = RQ^2.$$

Момент сопротивления вентилятора, приведенный к валу двигателя, имеет вид:

$$M = M_{\text{тр}} + k_M n^2.$$

Момент сопротивления вентилятора является суммой аэродинамического сопротивления и момента механического сопротивления (трением в подшипниках, редукторе и др.). В большинстве установок момент трения  $M_{\text{тр}}$  не превышает 5% от номинального момента.

Данные установки в отличие от других турбо-механизмов постоянно работают на сеть без противодействия, из-за чего зависимость момента статического сопротивления на валу приводного двигателя от скорости является квадратичной, а мощность, подаваемая на вентилятор (потери на трение в подшипниках не учитываются) пропорциональна скорости в кубе (рис.1.7).

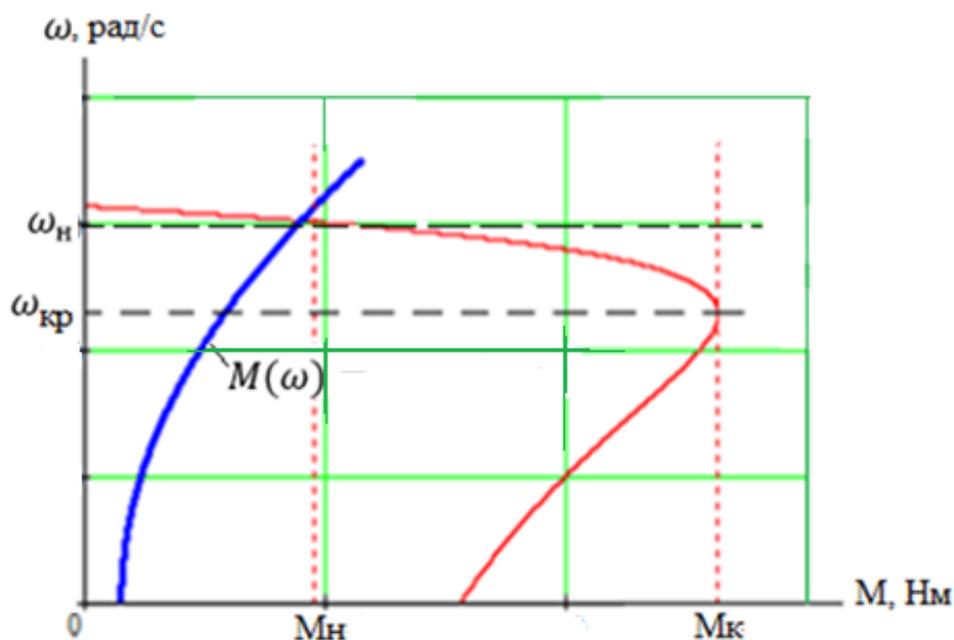


Рис.1.7. Вентиляторная нагрузка

Для линейки вентиляторов важно иметь регулируемый электропривод, позволяющий увеличить КПД. Основным данным показателем, например, тиристорного регулятора напряжения (ТРН), так и мощность АД, является суммарная мощность тепловых потерь, которая в системе ТРН — АД равна сумме их потерь. В регуляторе имеет место однократное преобразование энергии с малыми потерями, и поэтому они обладают высоким КПД. По некоторым данным, утверждается, что КПД регулируемого электропривода должен быть выше, чем у нерегулируемого, примерно на 12% [3]. Помимо повышения эффективности, использование регулируемого привода вентилятора позволяет в некоторых случаях упростить конструкцию турбомашины, а также обеспечить синхронную работу двух или более установок.

Мощность двигателя вентилятора определяется по формуле [4]:

$$P = \frac{QH}{102\eta_B\eta_{II}},$$

где Q – производительность;

H – напор вентилятора;

$\eta_B, \eta_{II}$  – КПД вентилятора и передачи.

При этом производительность и напор вычисляются по выражениям:

$$Q = Fv \text{ [м}^3 \text{ / с];}$$

$$H = \frac{v^2\gamma}{2g} \text{ [кг/м}^2\text{]},$$

где F – сечение газопровода,

v – скорость движения газа, м/с;

$\gamma$  – удельный вес газа, кг/м<sup>3</sup>

g – ускорение свободного падения.

Известно, что

$$q = m \cdot g = Fv\gamma,$$

где q – вес перекачиваемого газа, Н/с;

m – масса газа за секунду, кг/с.

Тогда выражение для энергии движущегося газа примет вид:

$$W = \frac{mv^2}{2} = \frac{Fv^3\gamma}{2g} \text{ [кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}\text{]},$$

а мощность на валу приводного двигателя:

$$P = \frac{Fv^3\gamma}{102 \cdot 2g\eta_B\eta_{II}} = k_3 \cdot \frac{Q \cdot H}{\eta_B\eta_{II}}, \quad (1.1)$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса (1,1 - 1,2).

Общий КПД вентиляторной установки

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_B\eta_{II}\eta_{\text{ПЕР}},$$

где  $\eta_B, \eta_{II}, \eta_{\text{ПЕР}}$  – КПД соответственно вентилятора, привода и передачи.

В настоящее время тенденции перехода к регулируемому приводу для этих установок стали очевидными.

Вентиляторы - это высокопроизводительные механизмы, которые работают непрерывно в течение всего года; нагрузка на валу двигателя практически неизменна, перегрузки не наблюдаются. Устройства обладают большим моментом инерции, что нужно учитывать при расчете пусковых характеристик электроприводов.

Необходимый диапазон регулирования скорости обычно не превышает 2:

1. Регулировка глубины используется редко.

Вентилятор запускается так, как если бы машина была разгружена, то есть когда направляющее устройство закрыто и когда оно полностью открыто. В первом эпизоде наибольший момент при пуске двигателя составляет примерно 0,4 номинального, во втором – номинальному значениям. Для мощных установок с большим диаметром рабочего колеса ускорение при запуске обычно требуется для предотвращения появления больших динамических напряжений в лопатках рабочего колеса.

Вышеуказанным требованиям наиболее полно отвечает несколько типов асинхронных электроприводов.

### **1.3. Анализ основных способов регулирования угловой скорости вала для данного типа механизма**

Следующим этапом проектирования является выбор системы автоматизированного управления (САУ) асинхронными приводами центробежными вентиляторами. После проработки технической литературы были найдены следующие структуры САУ: параметрическое регулирование скорости; использование асинхронного вентильного каскада (АВК), частотного преобразователя (ПЧ) и тиристорного регулятора напряжения.

Параметрический способ (изменением числа пар полюсов, переключением обмоток статора со звезды на треугольник, введение сопротивлений в обмотки) является самым старым и наиболее эффективным методом запуска, обеспечивающим только пошаговое управление скоростью, которое приводит к скачкам тока, в кинематике и дополнительным ударами.

## Асинхронный вентильный каскад

Стремление заменить вращающиеся электрические машины, которые реализуют энергию скольжения в вентильно-машинных каскадах, статическими преобразователями привело к созданию асинхронно-вентильных каскадов [4].

АВК состоит из асинхронного двигателя, инвертора и, вентильного преобразователя В, и сетевого трансформатора Тр (рис.1.8). Данная схема относится к группе каскадов с промежуточным звеном постоянного тока и работает по тому же принципу, что и вентильно-машинный каскад.

При этом пуск электродвигателя, как правило, осуществляют, подключая сопротивление в цепь инвертора или отключая его (инвертор) и вводя в цепь ротора резисторы. Инвертор в этом случае включают при минимально требуемой скорости.

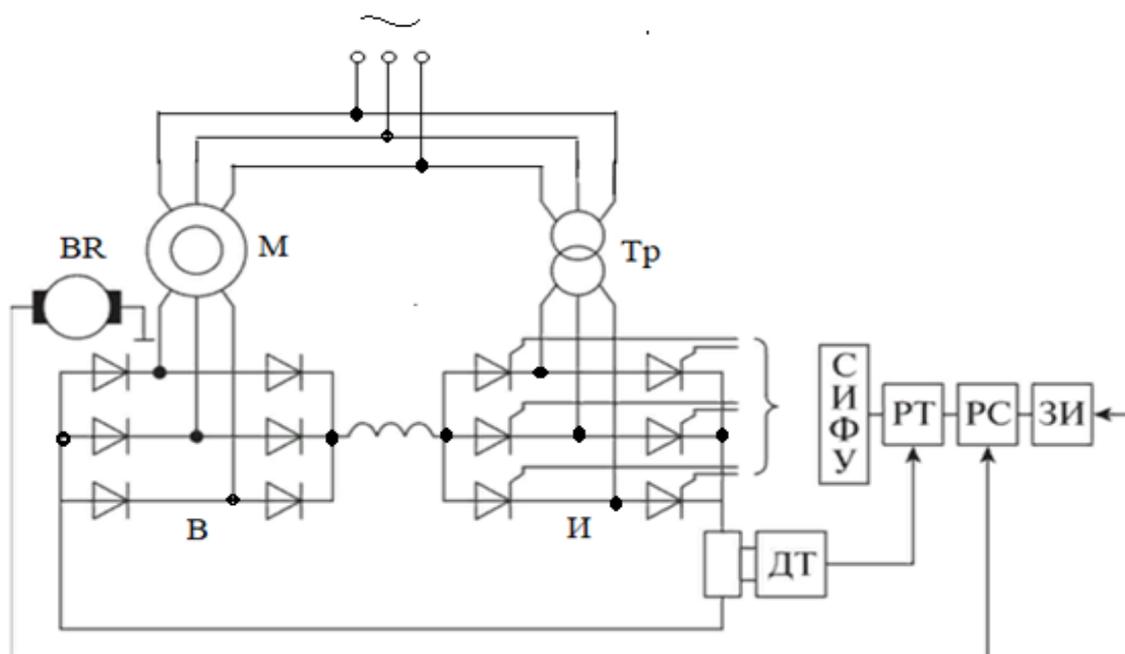


Рис.1.8. Функциональная схема АВК

Вентильный каскад характеризуется рядом положительных качеств:

- электропривод подключен к промышленной сети без промежуточных преобразователей энергии, преобразователи во цепи ротора используются только для регулирования скорости;
- асинхронный двигатель более предпочтителен по сравнению с ДПТ;

- плавное регулирование скорости и момента, не требующее большого количества силового оборудования;
- неплохие динамические свойства электропривода;
- более значительный КПД относительно ДПТ (преобразованию подвергается лишь часть энергии, пропорциональная скольжению двигателя), что влияет на энергоэффективность системы в целом.

Недостатки асинхронных вентильных каскадов:

- большая стоимость преобразователей, что приводит к высоким системным затратам;
- уменьшенный коэффициент мощности;
- при работе на максимальных скоростях уменьшается КПД;
- перегрузочная способность двигателя незначительная;
- ухудшение примерно на 5-7% использования приводного асинхронного двигателя;
- необходимость специальных средств для обеспечения пусковых характеристик привода (при неглубоком регулировании).

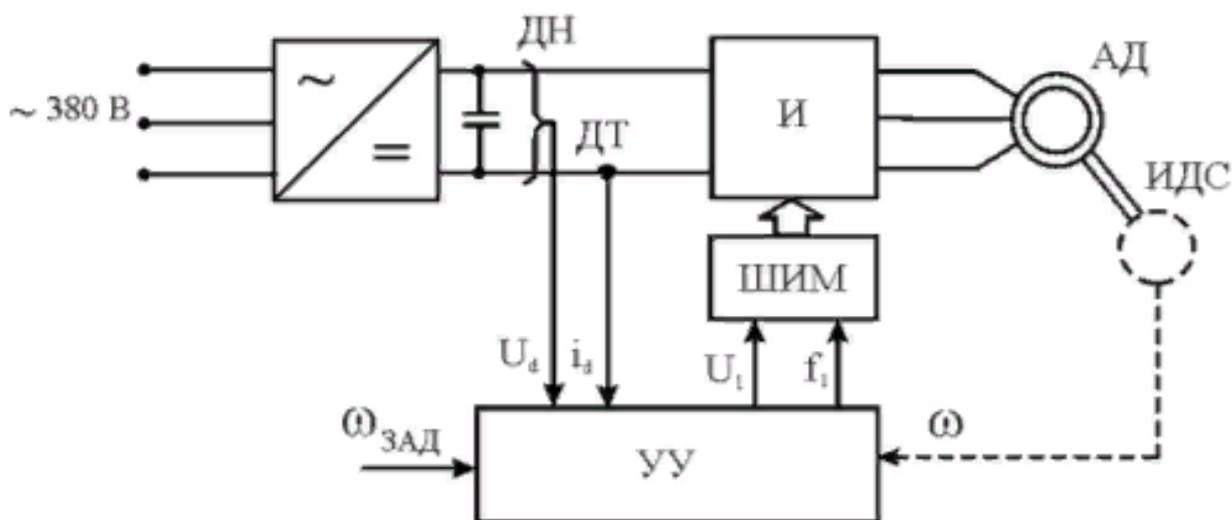
### **Частотный преобразователь**

Наиболее простым методом регулирования частоты вращения АД является способ, основанный на изменении величины и частоты напряжения питания.

Есть два типа преобразователей частоты: с прямой связью, который позволяет изменять частоту только ниже стандартного значения; с промежуточным звеном постоянного тока, который позволяет изменять частоту вниз или вверх от стандартного значения. По некоторым причинам последний нашел более широкое применение в электроприводах [5].

На рис.1.9 показана упрощенная функциональная схема скалярной системы регулирования частоты и скорости с промежуточным звеном постоянного тока. Заданная частота поступает на вход устройства управления УУ, которое в соответствии с принятым законом регулирования скорости, током нагрузки и номинальным скольжением двигателя формирует частоту  $f_1$

и амплитуду напряжения  $U_1$ . Информация о частоте и амплитуде напряжения подаётся на ШИМ (широтно-импульсный модулятор) – преобразователь, генерирующий выходные сигналы для инвертора И. Сформированное таким образом переменное напряжение подаётся на АД, который развивает требуемую угловую скорость. Дополнительную точность регулирования частоты вращения получают введением импульсного датчика скорости ИДС, устанавливаемого на валу двигателя, на рис.1.12 (показано пунктиром). Контур обратной связи по скорости позволяет с высокой точностью поддерживать заданную скорость АД  $\omega_{зад}$ , компенсируя скольжение и влияние нагрузки на вал двигателя.



*Рис.1.9. Упрощенная функциональная схема скалярной системы частотного управления АД*

Преобразователь частоты имеет ряд достоинств:

- экономия электроэнергии;
- плавный пуск электродвигателя;
- возможность удаленного управления электроприводом;
- высокий КПД (до 98%).

Недостатком данного преобразователя является его сложность устройства, высокие затраты на обслуживание, высокая стоимость.

Разница между этими системами управления заключается в том, что

преобразователь частоты используется для механизма регулировки глубины, а устройство плавного пуска применяются для плавного пуска.

В настоящее время они считаются наиболее эффективными и перспективными, с относительно небольшими размерами, достаточно высокой продуктивностью и широким диапазоном настроек. А недостатком является стоимость.

### **Тиристорный регулятор напряжения**

В настоящее время существует большое число различных схем включения тиристоров, которые позволяют коммутировать статорные цепи АД и регулировать напряжение, подаваемое на двигатель [6]. Выбор структуры главных цепи асинхронного электропривода с тиристорным управлением является существенным, так как он определяет его способность реализовывать различные режимы работы (регулируемые и технико-экономические показатели), т.е. те факторы, которые играют главную роль в определении сферы применения этих электроприводов и выявления их целесообразности промышленного использования. Поэтому при обсуждении различных схем запуска управляемых преобразователей необходимо учитывать ряд критериев, наиболее важными из которых являются следующие:

1. Степень управляемости асинхронного двигателя (возможность реализации режимов пуска-торможения: вращение в одном или в двух направлениях, реверс, торможение динамическое и против о включением, на правленное формирование переходных процессов; осуществимость регулирования скорости).
2. Количество силовых полупроводниковых элементов, входящих в схему тиристорного управления, и условия их работы (токи, протекающие через полупроводниковый прибор; прямые и обратные напряжения, возникающие во время работы).
3. Возможность работы при различных схемах соединения обмоток статора (звезда с нулевым проводом и без него, треугольник).

4. Простота реализации различных режимов (получение их без дополнительных силовых коммутирующих аппаратов; отсутствие специальных требований к системе управления вентилями и применение аналогичных схем для регулирования каждым из тиристоров).

5. Гармонический состав напряжения, приложенного к АД (форма механических характеристик, пределы и возможности регулирования скорости, энергетические показатели).

В данном случае такая структура регулятора напряжения имеет определенные преимущества и используется в установках, которые не требуют большого количества регулировок (насосы, вентиляторы), но требуют безударного пуска. Как упомянуто выше, прямой запуск может снизить напряжение, особенно в мощных асинхронных двигателях, создать ударный ток в сети, отрицательно повлиять на работу других потребителей энергии и привести к авариям. По сравнению с ПЧ тиристорный преобразователь может обеспечить эффективный плавный запуск двигателя, меньшие габаритные размеры и значительно сниженную стоимость. Капитальные затраты на использование устройства плавного пуска для автоматизации не высоки, чем при использовании преобразователя частоты. Именно поэтому система ТРН-АД принята за основу в данной работе и будет использоваться как устройство плавного пуска.

Для регулирования напряжения на статоре АД наиболее распространены ТРН, которые обладают значительной простотой обслуживания, высоким КПД, быстродействием небольшой стоимостью (рис.1.10). Вариант трехфазной схемы для регулирования напряжения на статоре АД, построен на основе однофазных схем и представлен на рис.10а. Тиристорный регулятор состоит из трех пар встречно — параллельно соединенных тиристоров (VS1...VS6), включенных между фазой сети и фазой регулятора. В каждую фазу ТРН включаются два тиристора по встречно-параллельной схеме, которая обеспечивает протекание тока в нагрузке в оба полупериода напряжения сети  $U_1$ .

Тиристоры получают импульсы управления от системы импульсно-фазового управления (СИФУ), которая обеспечивает их сдвиг на угол управления  $\alpha$  в функции внешнего сигнала  $U_y$ . Изменяя угол  $\alpha$  от  $0$  до  $180^\circ$ , можно регулировать напряжение на статоре от полного напряжения  $U_1$  до нуля. [7]

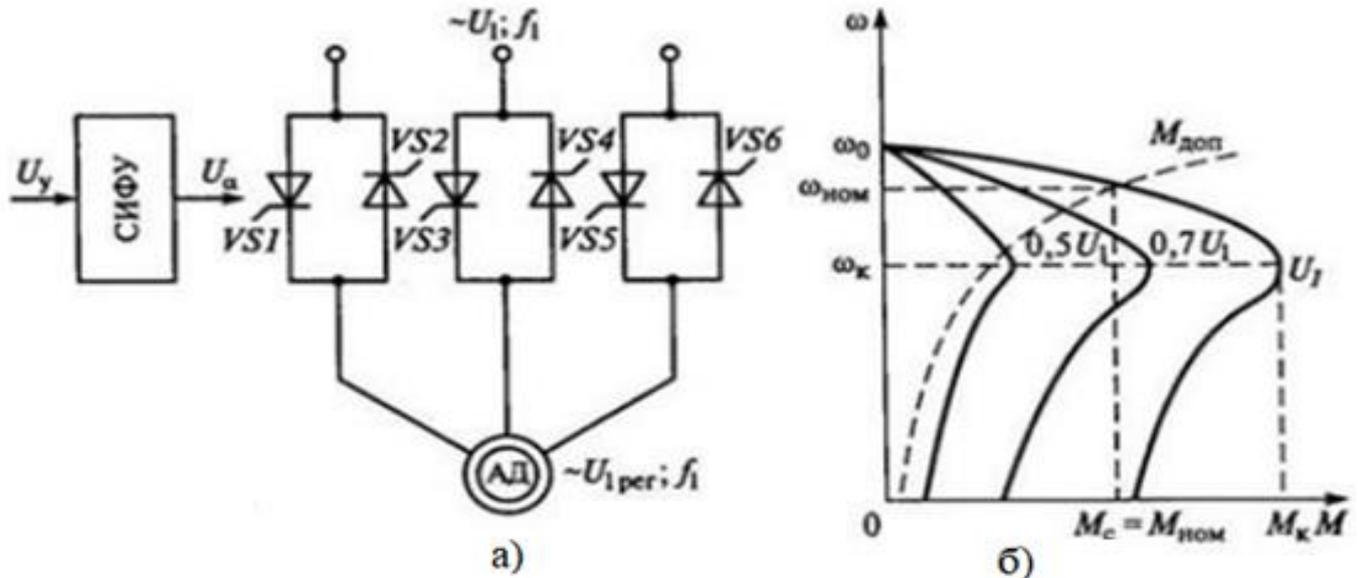


Рис.1.10 Система ТРН – АД: а-функциональная трехфазная схема; б-механические характеристики

На рис.10б показаны механические характеристики АД при варьировании напряжения на статоре. Регулирование напряжения на статоре не приводит к изменению скорости холостого хода  $\omega_0$  и не влияет на критическое скольжение  $S_k$ , но существенно изменяет значение критического (максимального) момента  $M_k$ . Это связано с тем, что критический момент асинхронного электродвигателя пропорционален квадрату напряжения:

$$M_k \sim U_1^2.$$

Поэтому снижение напряжения приводит к резкому уменьшению и снижению перегрузочной способности АД.

Анализируя форму искусственных характеристик, представленных на рис.10,б, можно сделать вывод, что если критическое скольжение  $S_k$  велико, то изменение напряжения можно использовать для регулирования скорости в

небольших пределах. Однако с уменьшением частоты вращения возрастает скольжение  $s$ , а значит и потери [8].

По сравнению с ПЧ тиристорный регулятор напряжения имеет ряд преимуществ:

- возможность работать в более жестких погодных условиях;
- простота устройства;
- сравнительно несложные алгоритмы управления;
- простота обслуживания;
- стоимость ТРН в разы меньше, при этом с увеличением мощности

электропривода разница в стоимости увеличивается.

Недостатком ТРН заключается в том, что малый КПД при малых скоростях и малый диапазон регулирования скорости вращения электродвигателя. Эти недостатки не имеют для электропривода задвижки.

Структуры с тиристорным регулятором напряжения и с преобразователем частоты можно считать одинаково эффективные.

Система ТРН-АД принята в качестве объекта исследования в выпускной квалификационной работе. Работа тиристорного преобразователя подробно описана с анализом его режимов функционирования.

#### **1.4. Принцип работы ТРН – АД технические и эксплуатационные характеристики**

Как отмечалось ранее, одним из возможных способов регулирования скорости асинхронных двигателей является изменение напряжения на статоре при стандартной постоянной частоте питающей сети равной 50 Гц.

На рис.1.11 приведена функциональная схема ТРН-АД.

Между сетью и статором АД включены три пары встречно-параллельно соединенных тиристоров  $VS1$  —  $VS6$ , образующих силовую часть ТРН регулятора. Управляющие электроды приборов подсоединены к выходам СИФУ, которая распределяет управляющие импульсы на все тиристоры и осуществляет их сдвиг в зависимости от сигнала управления  $U_v$ . К валу АД

подсоединен тахогенератор ТГ. Его ЭДС  $E_{ТГ}$  сравнивается с задающим напряжением  $U_{з.с}$ , снимаемым с потенциометра скорости ЗП, причем эти напряжения включены навстречу друг другу. Разность  $U_{з.с}$  и  $E_{ТГ}$ , равная напряжению управления

$$U_y = U_{з.с} - E_{ТГ},$$

поступает на вход СИФУ.

Когда этот сигнал увеличивается, угол управления тиристором уменьшается, а напряжение, подаваемое на АД, возрастает, и наоборот.

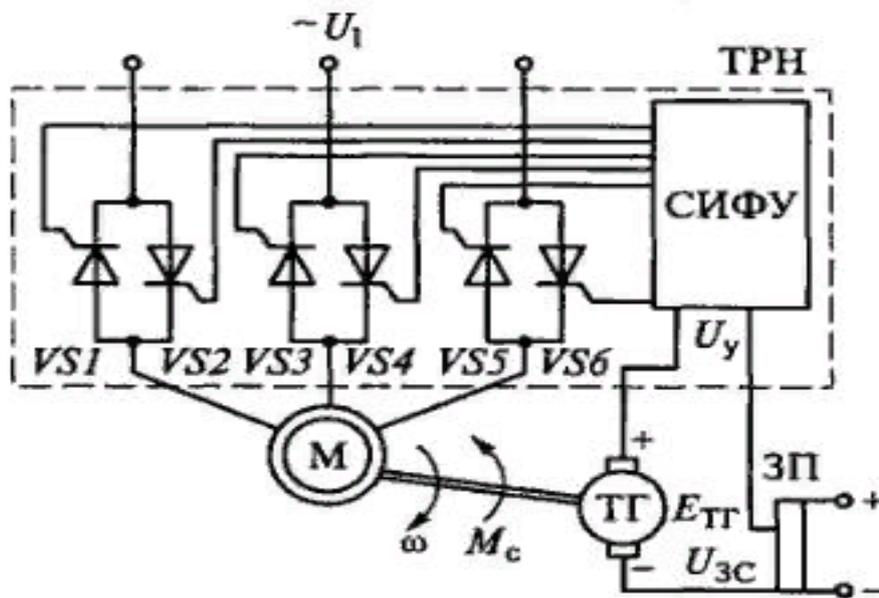


Рис.1.11. Схема замкнутой системы ТРН—АД

Система импульсно-фазового управления СИФУ с блоком комбинированной синхронизации БС (по напряжению  $U$  и току  $I$ ) совместно с блоками формирования импульсов БФИ и отдельного управления приборами в фазах БРУТ позволяют обеспечить при малых нагрузках устойчивую работу в разомкнутой системе ЭП (рис.1.12). В специальных режимах эта структура позволяет реализовать кратковременное снижение скорости при квази частотном управлении, форсирование пускового момента, вращения АД в прямом и обратном направлении на пониженных скоростях.

Для получения линейной зависимости выходного напряжения ТРН от входного сигнала система регулирования может содержать блок линеаризации

ЛИН, существенно упрощающий синтез внешних, по отношению к СИФУ, обратных связей в замкнутой системе.

Блоки коммутации аналоговых БКАС и дискретных сигналов БКДС по командам от блока выбора режимов БВР формируют последовательность импульсов для элементов управления СИФУ. Блок БВР управляет очередностью выполнения команд (сигналов) функциональных блоков  $\Phi 1-\Phi_i$ , блоков защит  $\Phi 31-$ , технологических блокировок ТБ, команд с пульта управления ПУ или дистанционного управления ДУ.

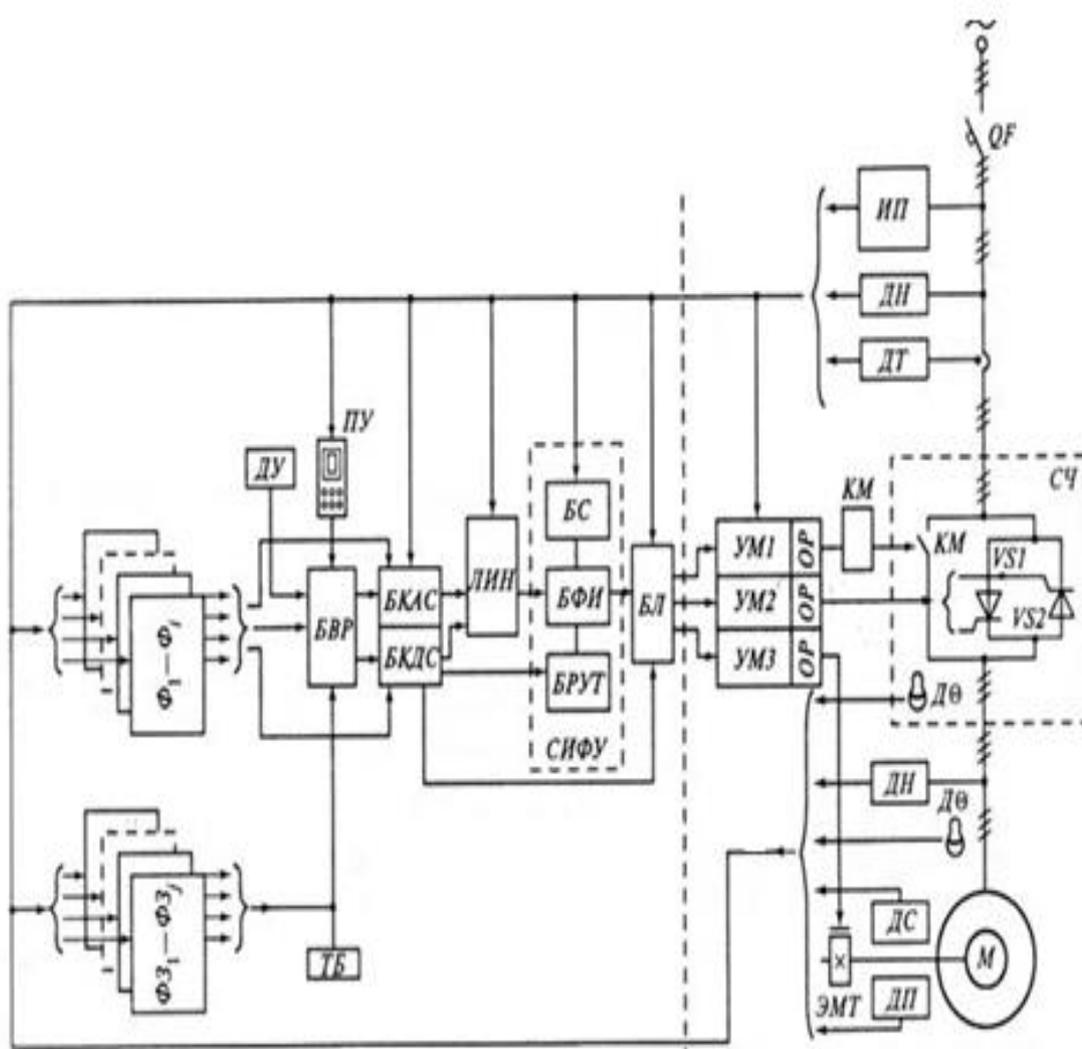


Рис.1.12. Расширенная функциональная схема ТРН-АД

### 1.5. Устройства плавного пуска и их функции

Электропривод средней мощности является наиболее массовым в использовании в различных отраслях промышленности. По-мимо этого

данный тип двигателя является одним из основных потребителей электроэнергии.

Во многих случаях, чтобы облегчить условия запуска вентиляторов с АД принимаются меры для его разгрузки. Для мощных вентиляторов, например, полностью закрывается направляющий аппарат. Однако и разгруженный агрегат обладает значительным аэродинамическим сопротивлением, вследствие чего момент на валу вентилятора при разгрузке составляет при номинальной скорости около 40% номинального.

Начальный момент, развиваемый приводом  $M_{нач}$  при угловой частоте вращения, равной нулю, должен превышать момент трогания устройства из состояния покоя  $M_{тр}$ , который существенно больше  $M_{тр}$  при вращении.

По мере развития полупроводниковой техники развивалась и структура управления асинхронными двигателями, что позволило объединить сопутствующее оборудование (тиристоры, микропроцессорную систему управления, наблюдатели и др.) в один интеллектуальный блок под названием устройство плавного пуска (УПП). Данный узел увеличивает такие показатели как: экономичность, энергетическая эффективность, управляемость, увеличение срока службы механизмов и электродвигателя, плавный пуск и останов, отсутствие провалов напряжения и др.

Устройство плавного пуска является тиристорным вариантом, основной задачей которого является обеспечение плавного пуска и останова. Его использование позволит:

- реализовать плавный пуск, без толчков в механизме;
- увеличить коэффициент мощности;
- ликвидировать пиковые механические нагрузки механизма;
- избежать бросков тока при пуске;
- отказаться от контакторов;
- в некоторых случаях, исключить применение гидромuft и муфт скольжения;
- отказаться от контакторов;

- исключить пики тока при переключении.

Плавное нарастание скорости, момента и тока является основной задачей, решаемой при обеспечении этих режимов. Плавное нарастание напряжения на двигателе выполнить эту задачу.

Анализ рассматриваемых функций устройств различных производителей позволяет отметить, что подавляющее их большинство реализует следующие основные функции:

- управление пуском и остановом;
- управление рабочим режимом;
- вспомогательные;
- защитные;
- интерфейс между устройством и управляющим элементом верхнего уровня, а также между устройством и оператором.

Как правило, тиристорный регулятор напряжения имеет функцию защит:

- от короткого замыкания;
- от обрыва фаз;
- от несрабатывания шунтирующего контактора (при наличии);
- от пробоя силового тиристора;
- от тепловой перегрузки;
- от токов перегрузки;
- от несимметрии входного напряжения;
- при работе в условиях пониженного напряжения на входе ТРН;
- при работе в условиях повышенного напряжения на входе ТРН;
- при потере управляемости прибора.

В настоящее время производством УПП занимаются такие мировые производители, как Telemecanique, Siemens, ABB, Softronic, Emotron AB, Ansaldo и другие [9-12].

Они применяются в отраслях, где требуется плавный запуск и остановка механизма и исключение динамических ударов.

Перечень такого оборудования приведен во введении.

В зависимости от типа УПП убираются ненужные дополнительные узлы, такие как реле температуры, автоматические выключатели двигателя и реле управления фазой. Все это приводит к снижению затрат на оборудование, уменьшает пространство для его установки и количество системных компонентов, упрощает обслуживание.

Существует много типов пусковых устройств и можно утверждать, что эти аппараты мощностью от 1 до 400кВт на напряжение до 660В построены по одной и той же схеме силовой части, известной еще с начала 20-го века. Это тиристорный регулятор напряжения с импульсно-фазовым управлением.

В зависимости от того какой тип УПП используется (реверсивный или не реверсивный), имеются от 3 до 5 комплектов полупроводниковых управляемых вентилях (тиристоров, симисторов, транзисторов), импульсы управления на которые формирует САУ. Изменение угла управления этих приборов приводит к варьированию действующего значения напряжения на входе аппарата и, как следствие, к изменению угловой скорости двигателя.

Основные преимущества современных УПП, выполненных на тиристорных регуляторах напряжения [13]:

- Экономия электроэнергии. Как известно, в режиме ХХ асинхронный электродвигатель потребляет около 40 % тока от номинального, эта электроэнергия выделяется в виде тепла. Постоянно отслеживая нагрузку на валу двигателя, УПП регулирует напряжение в зависимости от уровня нагрузки. Тем самым изменяется коэффициент мощности и потребляемая мощность.

- Уменьшение/отсутствие провалов напряжения. При запуске АД пусковой ток может в 5-7 раз превышать номинальное значение, что увеличивает нагрузку на сеть и приводит к снижению напряжения. Каждый производитель УПП обеспечивает свое падение пусковых токов. По сути, уменьшение происходит в 3-5 раз, что позволяет значительно уменьшить нагрузку на сеть и практически ликвидировать разницу напряжении. Падение пусковых токов дает возможность использовать коммутационное

оборудование с более низким номинальным значением.

- Увеличение срока службы электродвигателя. Пусковые токи приводят к дополнительному нагреву обмоток и, следовательно, к преждевременному их старению. Обеспечивая плавный пуск/останов, двигатель намного реже выходит из строя тем самым уменьшая затраты на ремонт.

- Рост срока службы механизмов. Вспомогательные механизмы часто выходят из строя из-за сильных ударов при прямом пуске. Например, изнашиваются зубчатые колеса редуктора. УПП управляемые по моменту отслеживают нагрузку на валу двигателя и обеспечивают пуск с минимальным значением тока.

## **1.6. Проблемы построения замкнутых систем управления ЭП по схеме ТРН – АД**

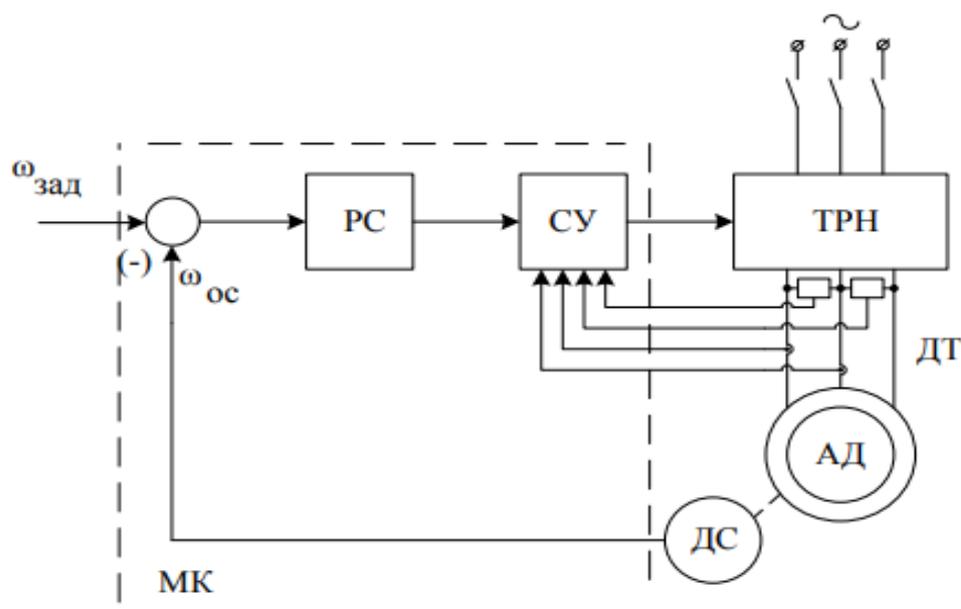
Для системы управления, когда двигатель работает выше критического скольжения, необходимо ввести обратную связь по скорости [19,20]. Кроме того, когда электропривод с регулируемым напряжением запускается, могут появляться колебание частота вращения и момента на скорости, близкой к синхронной.

Основной задачей регулирования в замкнутых системах является отработка задающего сигнала. За счет отрицательной обратной связи происходит корректировка управляющего сигнала соответствующим блоком, в состав которого входят различные регуляторы.

Замкнутые контуры регулирования настраиваются с использованием типовых методик:

- Симметричный оптимум.
- Модульный оптимум.

На рис. 1.13 показана функциональная схема асинхронного электропривода по схеме ТРН-АД с обратной связью по скорости.



*Рис.1.13 Функциональная схема асинхронного электропривода по схеме ТРН-АД с обратной связью от датчика скорости*

Функциональная схема асинхронного электропривода по схеме ТРН-АД с обратной связью по скорости состоит из таких блоков, как: система управления (СУ), регулятор скорости (РС) и микропроцессор (МК); асинхронный двигатель (АД), тиристорный регулятор напряжения (ТРН), напряжения (ДН) статора и датчики тока (ДТ) [21]. В схеме обратная связь организована от датчика скорости (ДС). Задача МК заключается в реализации закона управления открытием тиристоров в соответствии с заданной скоростью. Закон формируется с использованием данных из ДТ, ДС, ДН.

Для оценки работоспособности электропривода по системе ТРН – АД необходимо провести сравнительный анализ статических механических характеристик для замкнутого и разомкнутого асинхронного электропривода.

Согласно [22] уравнение, описывающее статические механические характеристики замкнутого асинхронного ЭП по схеме ТРН-АД с датчиком скорости (ДС) имеет вид:

$$\omega(M) = \omega_0 - \frac{M}{\beta},$$

где  $\omega_0$  - скорость идеального холостого хода,  $\beta$  – модуль жесткости механической характеристики,  $M$  – электромагнитный момент двигателя.

Для поддержания электроприводом скорости при различных значениях момента необходимо проверить жесткость механических характеристик для разомкнутой и замкнутой системы [21].

Жесткость механической характеристики определяется по формуле [22]:

$$\beta = \frac{dM}{d\omega}, [H \cdot m \cdot c],$$

где  $dM$  - приращение момента,  $d\omega$  - приращение скорости. Чем больше жесткость  $\beta$  характеристики, тем лучше система поддерживает постоянство скорости.

Механические характеристики для разомкнутой и замкнутой системы ТРН – АД представлены на рис. 1.14.

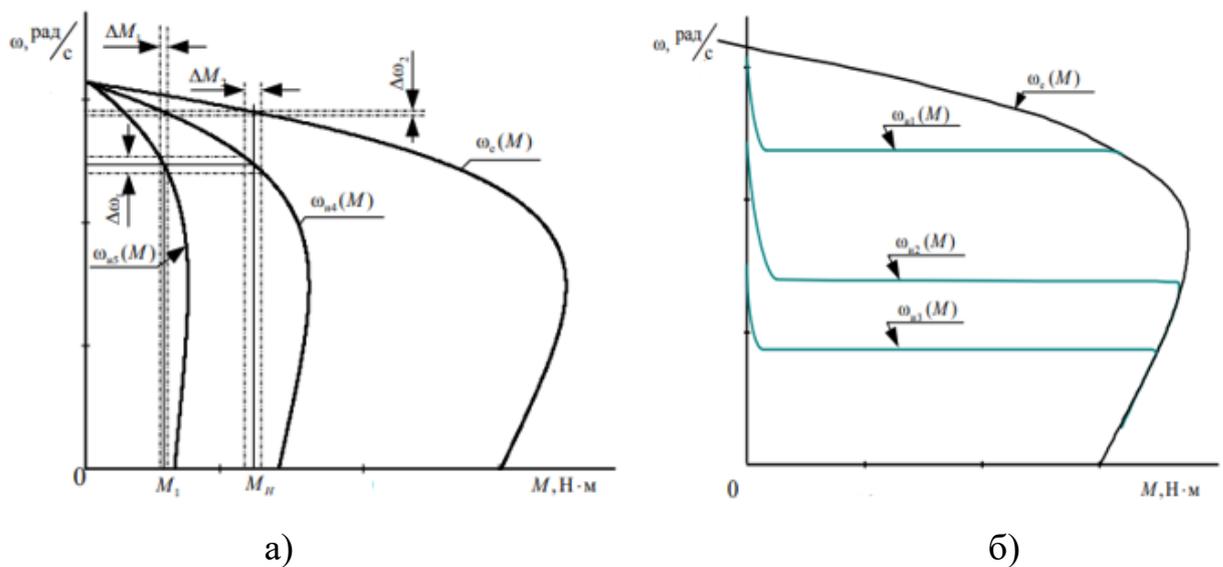
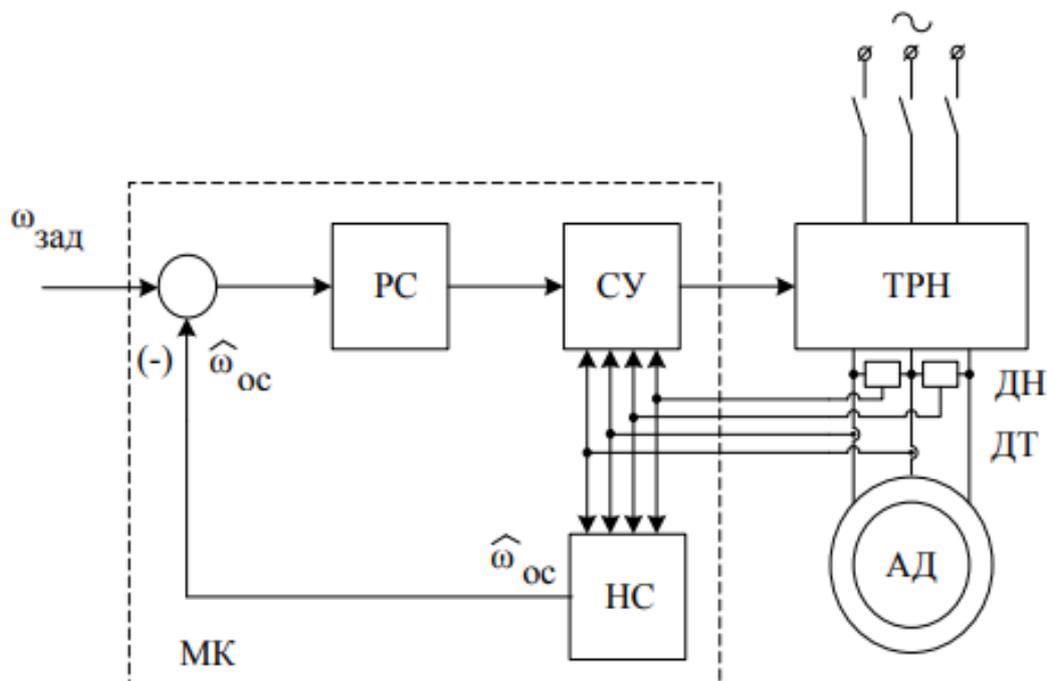


Рис. 1.14 Механическая характеристика а) разомкнутого и б) замкнутого асинхронного электропривода по схеме ТРН – АД

Здесь:  $\omega_{ii}(M)$  - искусственные механические характеристики при соответствующих скоростях и напряжениях задания ;  $\omega_e$  - естественная механическая характеристика,  $\Delta\omega_j$ ,  $\Delta M_j$  - приращение скорости и момента для вычисления коэффициента жесткости  $j$ -й характеристики.

Из рис. 1.14 видно, что жесткость механической характеристики выше в замкнутом асинхронном электроприводе по схеме ТРН – АД.

На рис. 1.15 показана функциональная схема асинхронного электропривода по схеме ТРН-АД, замкнутого по сигналу с наблюдателя скорости (НС).



*Рис.1.15 Функциональная схема асинхронного электропривода по схеме ТРН-АД с обратной связью от наблюдателя скорости*

Данная функциональная схема отличается от предыдущей тем, что вместо ДС используется НС, получающий данные с ДТ и ДН. Принцип работы аналогичен.

Таким образом, основными проблемами построения замкнутых по скорости систем управления электроприводов по схеме ТРН – АД связаны с выбором регулятора, его настройка и точностью оценивания скорости вращения вала двигателя с помощью наблюдателя угловой скорости ротора.

## 2. Расчет и выбор силового оборудования электропривода

### 2.1. Выбор электродвигателя

Мощность является главным аспектом выбора двигателя. Его номинальная мощность должна быть больше мощности, рассчитанной по исходным данным, предоставленным в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Исходные данные для проектирования

Производительность вентилятора	$Q = 45 \text{ м}^3/\text{мин} = 0,75 \text{ м}^3/\text{с}$
Напор	$H = 2300 \text{ Па}$
Диапазон регулирования	$D_\omega = 1 - 2,8$
КПД вентилятора	$\eta_B = 0,65$
КПД передачи	$\eta_n = 1$

Мощность центробежного вентилятора определяется по выражению (1.1)

$$P = k_z \cdot \frac{Q \cdot H}{\eta_B \cdot \eta_n} = 1,1 \cdot \frac{0,75 \cdot 2300}{0,65 \cdot 1} = 2,919 \text{ кВт.}$$

Из каталога выбираем двигатель АИР90L2 с номинальной мощностью 3кВт, изображенный на рис.2.1 [14]. Его технические характеристики приведены в табл.2.2. Из расчета видно, что он подходит для привода вентилятора.

$$P_{\text{ном}} = 3 \text{ кВт} \geq P_{\text{рас}} = 2,919 \text{ кВт,}$$

условие выполняется.



Рис.2.1. Внешний вид асинхронного двигателя АИР90L2

Таблица 2.2. Техническая характеристика двигателя АИР90L2

$P_{\text{НОМ}}, \text{кВ}$	$n_{\text{НОМ}}, \%$	$\cos \varphi_{\text{H}}$	$s_{\text{H}}, \%$	$m_{\text{П}}$	$m_{\text{К}}$	$m_{\text{М}}$	$k_{i, \text{ДВ}}$	$J_{\text{ДВ}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$
3	84,5	0,88	5	2	2,2	1,6	7	0,0035

Находим дополнительные параметры двигателя по справочным техническим данным:

Синхронная угловая частота вращения

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{H}}}{z_p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314,159 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальная угловая скорость вращения

$$\omega_{\text{H}} = (1 - s_{\text{H}}) \cdot \omega_0 = (1 - 0,05) \cdot 314,159 = 298,45 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальный момент

$$M_{\text{ДВ.Н}} = \frac{P_{\text{ДВ.Н}}}{\omega_{\text{ДВ.Н}}} = \frac{3000}{298,45} = 10,052 \text{ Нм.}$$

Номинальные фазное напряжение, фазный и линейный ток (действующее значение) статора при схеме соединения обмоток «звезда»:

$$U_{1\text{ФН}} = \frac{U_{1\text{ЛН}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В,}$$

$$I_{1\text{ФН}} = I_{1\text{ЛН}} = I_{\text{ДВ.Н}} = \frac{P_{\text{ДВ.Н}}}{3 \cdot U_{1\text{ФН}} \cdot \cos \varphi_{\text{H}} \cdot \eta_{\text{H}}} = \frac{3000}{3 \cdot 220 \cdot 0,88 \cdot 0,845} = 6,113 \text{ А.}$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске

$$I_{1\text{МАКС}} = k_{i, \text{ДВ}} \cdot I_{1\text{ЛН}} = 7 \cdot 6,113 = 42,789 \text{ А.}$$

Критический момент на естественной характеристике

$$M_{\text{К}} = m \cdot M_{\text{ДВ.Н}} = 2,2 \cdot 10,052 = 22,114 \text{ Нм.}$$

Пусковой момент при прямом пуске

$$M_{\text{ДВ.ПУСК}} = m_{\text{П}} \cdot M_{\text{ДВ.Н}} = 2 \cdot 10,052 = 20,104 \text{ Нм.}$$

## 2.2. Выбор преобразовательного устройства для системы регулируемого привода

Для схемы тиристорного регулятора напряжения определяем тип управляемых вентилях по следующим параметрам:

Максимально допустимое напряжение на тиристоре

$$U_M = 2,32 \cdot U_\phi = 2,32 \cdot 220 = 510,4 \text{ В.}$$

Его максимальный пусковой ток

$$I_{1МАКС} = k_{i,ДВ} \cdot I_{1ЛН} = 7 \cdot 6,113 = 42,791 \text{ А.}$$

На основании этих расчетов выбираем тиристоры серии Т131-50 [15]. Его технические характеристики приведены в табл.2.3. На рис.2.2 дана габаритные размеры данного полупроводникового прибора.

Таблица 2.3. Параметры тиристоров Т131-50

Тип прибора	$U_{обр.,п.}$ $U_{обр.,max}$ , В	$U_{ас.,п.}$ $U_{ас.,max}$ , В	$I_{ос.,и.}$ , А	$I_{ос.,ср.}$ $I_{ос.,п.}$ , А	$U_{ос.,и.}$ $U_{ос.}$ , В	$U_{y.,нот}$ , В	$I_{ас.,п.}$ , $I_{ас.}$ МА
Т131-50	100-1200	100-1200	75	50	1,75	0,3	6,0
Тип прибора	$I_{обр.,п.}$ , $I_{обр.}$ МА	$I_{y.,от.}$ , $I_{y.,и.}$ МА	$U_{y.,от.}$ $U_{y.,от.и.}$ , В	$dU_{ас.}/dt$ , В/ МКС	$t_{вкл.}$ , МКС	$t_{выкл.}$ , МКС	
Т131-50	6,0	150	3,5	50-1000	10	63-100	

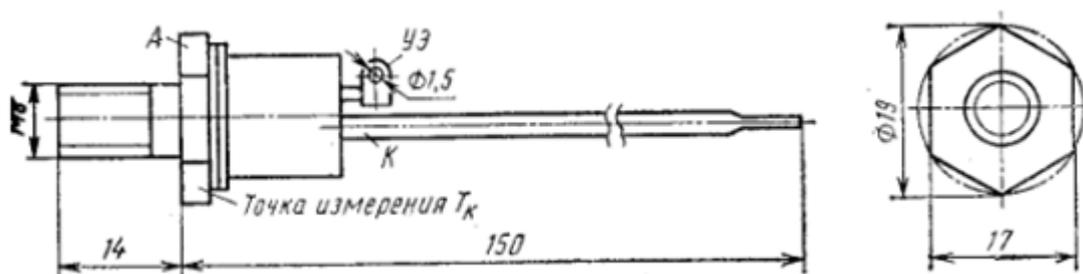


Рис.2.2. Габаритные размеры тиристора типа Т131-50

Основные особенности его конструкции:

- соответствие международным стандартам;
- герметичный металлокерамический корпус;
- техническая компоновка, позволяющая получить высокое повторяющиеся импульсное обратное напряжение ( $U_{drm}$ ) и импульсное напряжение в закрытом состоянии ( $U_{prm}$ );
- прижимные внутренние контактные соединения, обеспечивающие высокую стойкость к циклическим нагрузкам;
- низкие потери в открытом состоянии.

Области применения:

- полу-управляемые выпрямительные мосты и полностью управляемые;

- системы функционирования с ДПТ;
- регуляторы переменного тока (например, для контроля температуры).

### 2.3. Расчет и выбор сечения кабеля защитной аппаратуры для силовой части электропривода

Выбор проводников и конструкции сети проводится с учетом окружающей среды помещений цехов. В цеховых сетях до 1000В используются электропроводки, комплектные шинопроводы, кабельные линии. Способ прокладки питающей сети определяется в зависимости от характера окружающей среды.

Исходя из номинального тока двигателя, выбирается медный трехжильный бронированный с круглыми жилами и пропитанный бумажной изоляцией кабель сечением 6 марки ПВ-3(1х6) на рис.2.3, у которого допустимый ток равен 70 А. Каждая его жила имеет слой изоляции и оболочку, из бумажной подушки и брони. Три изолированные жилы плоского кабеля уложены параллельно в ряд. В их содержится слой изоляции и оболочка, из бумажной подушки и брони.

Параметры кабеля марки ПВ:

- Рабочее напряжение, 0 – 3 кВ.
- Допустимую температуру окружающей среды от $-50^{\circ}\text{C}$ до $+70^{\circ}\text{C}$ .
- Срок службы кабеля ПВ - не менее 30 лет.



Рис.2.3 Кабель марки ПВ-3(1х6)

### Расчёт потерь напряжения в кабеле

Расчет потерь линейного (между фазами) напряжения кабеля производится по формуле:

$$\Delta U(B) = \frac{P \cdot R \cdot l + Q \cdot X \cdot l}{U_{л}} = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot 2,97 \cdot 10^{-3} \cdot 100 + 1,6 \cdot 10^3 \cdot 0,09 \cdot 10^{-3} \cdot 100}{380} = 6,55 \text{ В},$$

где  $X$  - удельное индуктивное сопротивление (для кабелей с медными жилами 0,09 Ом/км);

$P$  - активная мощность, передаваемая по линии, Вт;

$Q$  - реактивная мощность, посылаемая по линии, Вар;

$R$  — удельное активное сопротивление для кабелей с медными жилами 2,97 Ом/км ;

$l$  — длина кабельной линии, м;

$U_{л}$ ,  $U_{ф}$  – линейное и фазное напряжения сети, В.

Данная величина в процентах:

$$\Delta U(\%) = \frac{P \cdot R \cdot l + Q \cdot X \cdot l}{U_{л}^2} = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot 2,97 \cdot 10^{-3} \cdot 100 + 1,6 \cdot 10^3 \cdot 0,09 \cdot 10^{-3} \cdot 100}{380^2} = 0,012\%.$$

Проверяем сечение кабеля по условию соответствия выбранного аппарата максимальной токовой защите:

Выбираем кабель марки ПВ-1(3х6) [16], у которого  $I_{доп} = 70\text{А}$ ,

$$I_{доп} = 70\text{А} \geq I_{ном} = 6,113 \text{ А}.$$

Проверка сечения проводника по условию соответствия аппарату защиты:

$$I_{доп} = 70\text{А} \geq \frac{I_3 \cdot K_3}{K_{прокл}} = \frac{60 \cdot 1}{1} = 60\text{А}.$$

Выбираем предохранитель НПН2-60 [17], ток вставки  $I_{вс} = 10\text{А}$ .

Проверка:  $I_{н.пр.} = 60\text{А} \geq I_{вс} = 10\text{А}$ ,

$$I_{вс} = 60 \text{ А} \geq I_{дл} = I_{н} = 6,113 \text{ А},$$

$$I_{вс} = 60\text{А} \geq \frac{I_{кр}}{\alpha} = \frac{I_{пуск}}{\alpha} = \frac{30,1}{2,5} = 12,3,$$

где  $I_{пуск} = 5 \cdot I_{н} = 5 \cdot 6,133 = 30,1\text{А}$ ;

$\alpha$  - коэффициент, характеризующий условия пуска двигателя (для легкого

пуска  $\alpha = 2,5$ ).

Значит  $I_3 = 60\text{A}$ .

Выбираем автомат серии *ВА13-25*[17],  $I_H = 25\text{ A}$ ;

$$I_{\text{н.расц.}} = 25\text{ A} \geq I_{\text{дл}} = I_H = 6,113\text{ A};$$

$$I_{\text{кз.}} \geq 1,5 \cdot I_{\text{пуск.}} = 1,5 \cdot 30,1 = 45,15\text{ A},$$

где  $I_{\text{кз.}} = k \cdot I_{\text{н.расц.}} = 4 \cdot 25 = 100\text{ A}$ .

### 3. Проектирование каналов измерения (выбор датчика тока, температуры, напряжения)

#### 3.1 Канальный датчик температуры QAM21.20

Предназначен для измерения температуры приточного или вытяжного воздуха.

Датчик состоит из измеряющего среднее значение температуры, пластмассового корпуса с крышкой на «защелках», выносного чувствительного элемента и фланца. Он установлен на стенке воздуховода на выходе кондиционера. Модификации датчика отличаются длиной чувствительного узла.

Датчик устанавливается на фланце, а его воспринимающий элемент должен пересекать поперечное сечение воздушного канала (сгибается вручную), не касаясь при этом стенок канала.

Его технические характеристики приведены в табл.3.1. На рис.3.1. дан пример установки датчика [18].

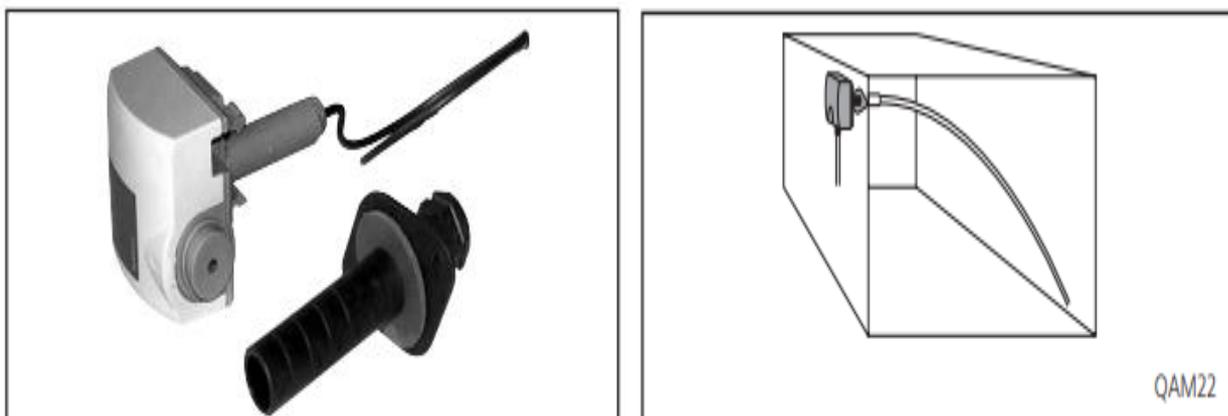


Рис.3.1. Пример установки датчика

Таблица 3.1- Параметры датчик температуры

Диапазон измерения, °С	..-30...+80
Чувствительный элемент	...LG Ni 1000 Ом при 0 °С
Длина элемента, м	...0,4
Допустимая длина кабеля 300 м Max (см. документацию на соответствующий контроллер)	
Рекомендуется использовать экранированный кабель	
Соединительный разъем,	...1×2,5 или 2×1,5
Уровень защиты	...IP42 EN 60 529
Класс изоляции	...III по EN 60 730
Вес, кг	...0,16

Датчик температуры приточного воздуха предназначен для определения температуры воздуха в воздуховоде. Он передает электрический сигнал о температуре на контроллер, который, в свою очередь, управляет регулирующим клапаном на теплоносителе калорифера. При уменьшении температуры открывается, при увеличении — закрывается, изменяя количество теплоносителя, поступающего в калорифер и, следовательно, варьируется нагрев воздуха в системе.

### 3.2 Датчик напряжения LV 25-P

Отличительные особенности:

- компенсационный датчик на эффекте Холла;
- расширенный температурный диапазон -40 °С .. + 85 °С;
- изолирующий пластиковый негорючий корпус, UL 94-V0.

Принцип работы датчик напряжения

Преобразуемое напряжение подается на входные клеммы датчика через внешний резистор R1 величина которого выбирается пользователем исходя из номинального входного тока датчика и номинального измеряемого напряжения (рис.3.2).

Его параметры:

$$I_{PH} = 10 \text{ мА},$$

$$U_{PH} = 10...500 \text{ В}.$$



## Справочные данные

Климатическое исполнение У, категория размещения 2 (ГОСТ 15150-69)

$T_A$	Рабочая температура	- 40 .. + 85	°C
$T_S$	Температура хранения	- 50 .. + 90	°C
$R_p$	Сопротивление первичной цепи при $T_A = 85$ °C	300	Ом
$R_s$	Выходное сопротивление при $T_A = 85$ °C	120	Ом
$m$	Вес	22	г
	Стандарты	КРЧД.420104.001ПМИ	
	Код LEM	69.27.19.020.0	
	Свидетельство об утверждении типа средств измерения	СН.С.34.004.А №54787	

На рис.3.3 дана габаритные размеры данного датчика.

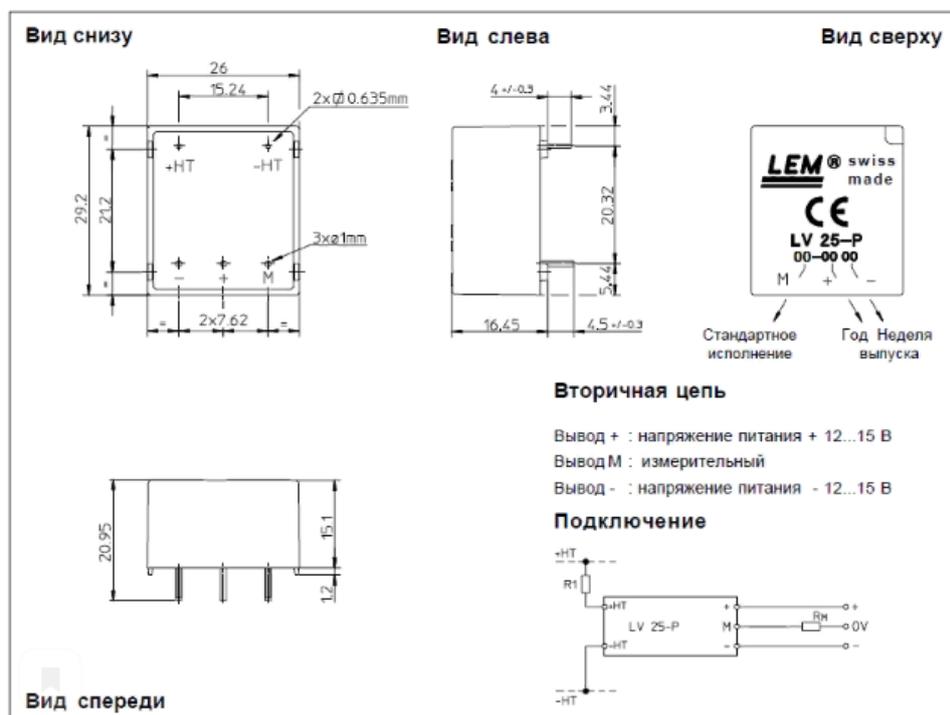


Рис.3.3. Габаритные размеры датчик напряжения LV 25-P

### 3.3 Датчик тока НУ 05...25Р

Отличительные особенности:

- изолирующий пластиковый негорючий корпус;
- низкое энергопотребление;
- расширенный диапазон преобразования (3 x IPN);
- разработан для установки на печатную плату;
- первичной и вторичной цепями;
- сверхмалый вес.

Внешний вид датчик тока изображено на рис.3.4.

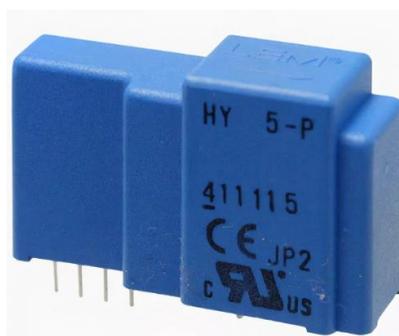


Рис.3.4. Датчик тока HY 05...25P

Его параметр:

$$I_{PH} = 5 \dots 25 \text{ A.}$$

Преимущества:

- общий конструктив для всех диапазонов;
- простота монтажа;
- малые габаритные размеры.

Его технические характеристики приведены в табл.3.3.

Таблица 3.3- Параметры датчик тока

Электрические параметры			
Первичный ток, эфф.знач., $I_{PN}$ (A)	Диапазон преобразования, $I_P$ (A)	Диаметр первичной шины	Тип
5	$\pm 15$	0,7	HY 05-P
10	$\pm 30$	1,1	HY 10-P
15	$\pm 45$	1,4	HY 15-P
20	$\pm 60$	2x1.2	HY 20-P
25	$\pm 75$	2x1.4	HY 25-P

$V_C$	Напряжение питания ( $\pm 5\%$ )	$\pm 15$	V
$I_C$	Ток потребления	< 10	mA
$I_{JC}$	Допустимая перегрузка ( 1 мс)	$50 \times I_{PN}$	A
$V_d$	Электрическая прочность изоляции, 50 Гц, 1 мин	2,5	kV
$V_b$	Рабочее напряжение первичной цепи	500	V
$V_{out}$	Выходное напряжение при $\pm I_{PN}, R_L=10\text{k}\Omega, T_A=25^\circ\text{C}$	$\pm 4.0$	V
$R_{out}$	Выходное внутреннее сопротивление	100	Ом
$R_L$	Величина нагрузочного резистора	> 1	kОм
$I_{out}$	Выходной ток	< 2	mA

### Точно-динамические характеристики

<b>X</b>	Точность преобразования при $I_{PN}, T_A = 25^\circ\text{C}$	$< \pm 1.0$	%	
$\psi_L$	Нелинейность ( $0 \dots \pm I_{PN}$ )	$< 1.0$	% от $I_{PN}$	
<b>V<sub>OE</sub></b>	Дрейф нуля, при $T_A = 25^\circ\text{C}$	$\pm 40$	мВ	
<b>V<sub>OH</sub></b>	Гистерезис выходного напряжения при $I_P = 0$ , после прохождения тока $1 \times I_{PN}$	$< \pm 15$	мВ	
<b>TCV<sub>OUT</sub></b>	Температурный дрейф $V_{OUT}$ при $I_P=0$	средн.	$< \pm 1.5$	мВ/°C
		макс.	$< \pm 3$	мВ/°C
<b>TCV<sub>G</sub></b>	Температурный дрейф коэфф. преобразования, (% от значения)	$< \pm 0.1$	%/°C	
<b>t<sub>r</sub></b>	Время задержки при 90 % от $I_P$	$< 3$	мкс	
<b>di/dt</b>	Скорость нарастания входного тока	$> 50$	А/мкс	
<b>f</b>	Частотный диапазон (-3дБ)	0 .. 50	кГц	

### Справочные данные

<b>T<sub>A</sub></b>	Рабочая температура	- 10 .. + 80	°C
<b>T<sub>S</sub></b>	Температура хранения	- 25 .. + 85	°C
<b>R<sub>IS</sub></b>	Сопротивление изоляции при 500 V, $T_A = 25^\circ\text{C}$	$> 1000$	МОм
<b>m</b>	Вес ( не более)	14	гр
	Код LEM		

На рис.3.5 дана габаритные размеры данного датчика.

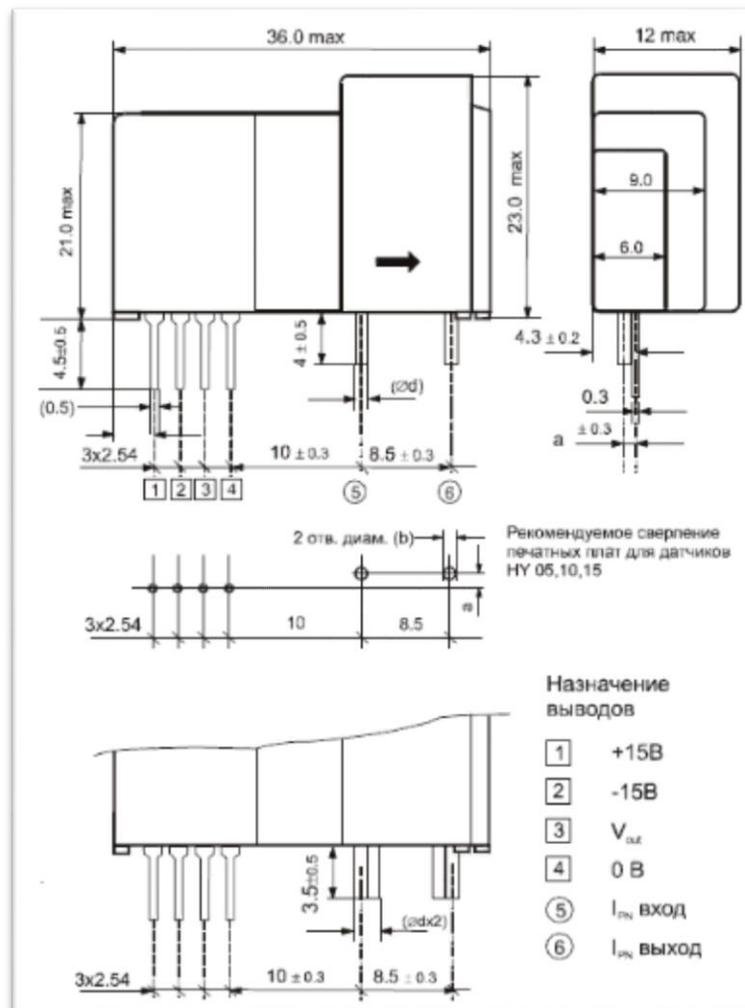


Рис.3.5. Габаритные размеры датчик тока HU 05...25P

## 4. Статические характеристики погружного двигателя

### 4.1 Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя

Определение параметров схемы замещения в абсолютных единицах по параметрам в относительных единицах

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = R'_1 \cdot \frac{U_{1\phi H}}{I_{1\phi H}} = 0,072 \cdot \frac{220}{6,113} = 2,591 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора

$$X_{1\sigma} = x'_1 \cdot \frac{U_{1\phi H}}{I_{1\phi H}} = 0,057 \cdot \frac{220}{6,113} = 2,051 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{2,051}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 6,53 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора

$$R_2 = R''_2 \cdot \frac{U_{1\phi H}}{I_{1\phi H}} = 0,047 \cdot \frac{220}{6,113} = 1,692 \text{ Ом.}$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора

$$X'_{2\sigma} = x''_2 \cdot \frac{U_{1\phi H}}{I_{1\phi H}} = 0,10 \cdot \frac{220}{6,113} = 3,599 \text{ Ом.}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{3,599}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 11 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания при номинальном режиме

$$X_{кн} = X_{1\sigma} + X'_{2\sigma} = 2,051 + 3,599 = 5,65 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания (главное индуктивное сопротивление).

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора

(индуктивность контура намагничивания)

$$L_m = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{122,367}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,39 \text{ Гн.}$$

Ток холостого хода двигателя

$$I_0 = \frac{E_1}{X_\mu} = \frac{200,135}{122,367} = 1,636 \text{ А,}$$

где

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1\phi H} \cdot \cos\varphi_H - I_{1\phi H} \cdot R_1)^2 + (U_{1\phi H} \cdot \sin\varphi_H - I_{1\phi H} \cdot X_{1\sigma})^2} \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,88 - 6,113 \cdot 2,591)^2 + (220 \cdot 0,475 - 6,113 \cdot 2,051)^2} \\ &= 200,135 \text{ В.} \end{aligned}$$

– ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора (главным полем) в номинальном режиме.

### Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя

$$\begin{aligned} M_{\text{эм.н}}^* &= \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[ X_{\text{кн}}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu'} \right)^2 \right]} \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 1,692}{314,159 \cdot 0,05 \cdot \left[ 5,65^2 + \left( 2,591 + \frac{1,692}{0,05} \right)^2 + \left( \frac{2,591 \cdot 1,692}{0,05 \cdot 3,4} \right)^2 \right]} \\ &= 11,506 \text{ Н} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{эм.н}}^{**} &= \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{L_m + L_{2\sigma}'} \cdot \Psi_{2H} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1H}^2 - I_0^2} \\ &= \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot \frac{0,39}{0,39 + 11 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,901 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{6,113^2 - 1,636^2} \\ &= 10,935 \text{ Н} \cdot \text{м,} \end{aligned}$$

где  $\Psi_{2H} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 1,636 \cdot 0,39 = 0,901 \text{ Вб.}$

Должны выполняться условия:

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

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

Условия выполняются:

$$10,052 < 10,935 \leq 1,1 \cdot 10,052 = 11,057; \quad 11,506 \approx 10,935.$$

## 4.2 Расчет естественных характеристик

Естественная механическая характеристика  $M_{\text{эм}}(s)$  электродвигателя для частоты  $f_{1н} = 50 \text{ Гц}$  рассчитывается по выражению:

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

где  $M_{\text{эм}}$  – электромагнитный момент двигателя, Нм.

По результатам расчета строится механическая характеристика  $\omega(M_{\text{эм}})$  (рисунок 18), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению:

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s).$$

Параметры характерных точек на естественной механической характеристике двигателя:

– электромагнитный номинальный момент при номинальном скольжении  $s_n$ :

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

– критическое скольжение:

$$s_k = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left( \frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2}{R_1^2 + X_{кн}^2}} = 0,194 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left( \frac{2,591}{122,367} \right)^2}{2,591^2 + 5,65^2}} = 0,272;$$

– угловая критическая скорость вращения двигателя:

$$\omega_{кр} = \omega_0 \cdot (1 - s_{кр}) = 228,71 \text{ рад/с};$$

– электромагнитный критический момент при критическом скольжении:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{эм}}(s_k) = M_{\text{эм.к}} &= \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[ R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{\text{кн}}^2) \cdot \left[ 1 + \left( \frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2 \right]} \right]} \\
 &= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 314,159 \cdot \left[ 2,591 + \sqrt{(2,591^2 + 5,65^2) \cdot \left[ 1 + \left( \frac{2,591}{122,367} \right)^2 \right]} \right]} \\
 &= 26,238 \text{ Н} \cdot \text{м}.
 \end{aligned}$$

На рис.4.1 представлена естественная механическая характеристика  $\omega = f(M)$  для асинхронного двигателя.

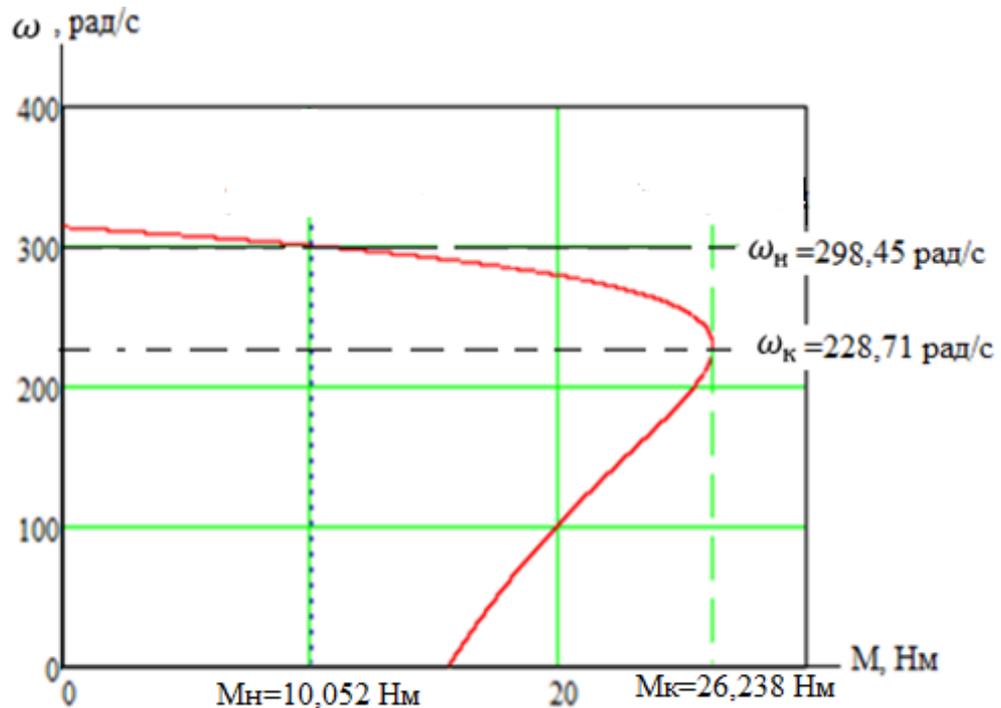


Рис.4.1. Естественная механическая характеристика АД

На основании полученной характеристики можно сделать вывод, что привод полностью обеспечивает заданную область работы.

Естественные электромеханические характеристики  $I_1(s)$  и  $I_2'(s)$  электродвигателя рассчитывается для частоты по выражению  $f_{1н} = 50 \text{ Гц}$ .

Ток статора:

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

где  $I_1 = I_{1\phi}$  действующее значение фазного тока двигателя, А.

Приведенный к обмотке статора ток ротора:

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}}.$$

Действующее значение тока холостого хода,

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{кн}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}}.$$

По результатам расчета строятся электромеханические характеристики  $I_1(\omega)$  и  $I_2'(\omega)$  (рис.4.2), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению:  $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$ .

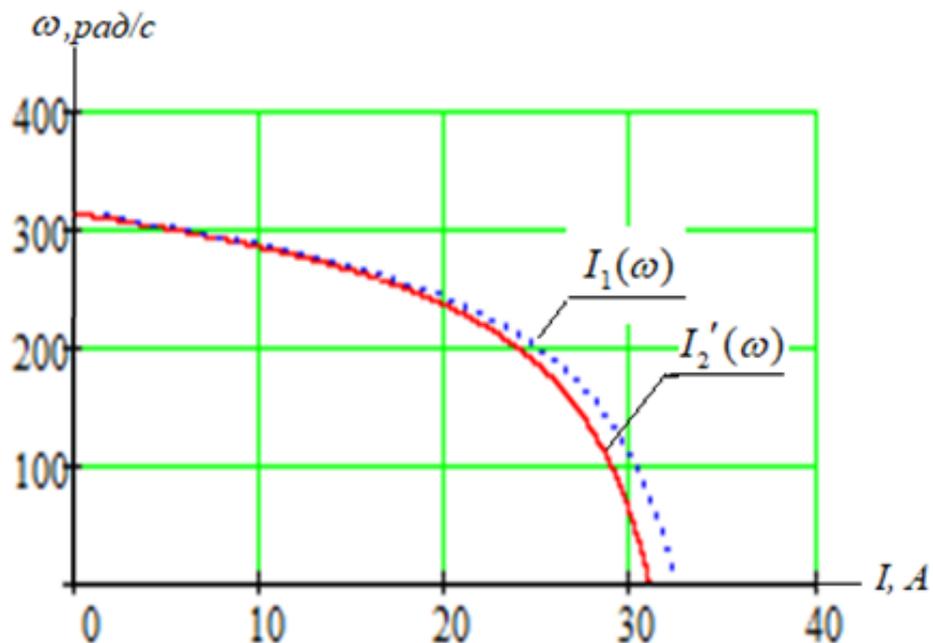


Рис.4.2. Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя

### 4.3 Расчет искусственных характеристик

Рассчитать и построить электромеханические и механические

характеристики разомкнутой системы "регулятор напряжения – АД" для различных задающих напряжений. Произвести анализ полученных результатов.

Для разомкнутой системы "регулятор напряжения – АД" построим электромеханические и механические характеристики при действующем значении напряжения  $U_1 = 220 В, U_2 = 180 В, U_3 = 140 В, U_4 = 100 В, U_5 = 60 В, U_6 = 20 В$  и частотах  $f_1 = 50 Гц, f_2 = 50 Гц, f_3 = 50 Гц, f_4 = 50 Гц, f_5 = 50 Гц, f_6 = 50 Гц$ .

Пример расчета для  $M_1$  и  $\omega_1$

$$M_1(s) = \frac{3 \cdot \left[ U_2 \cdot \frac{f_3}{f} \right]^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f} \cdot s \cdot \left[ \left( X_{kn} \cdot \frac{f_1}{f} \right)^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f}} \right)^2 \right]}$$

$$\omega_1(s) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f} \cdot (1 - s).$$

По результатам расчетов построены графики (рис.4.3)

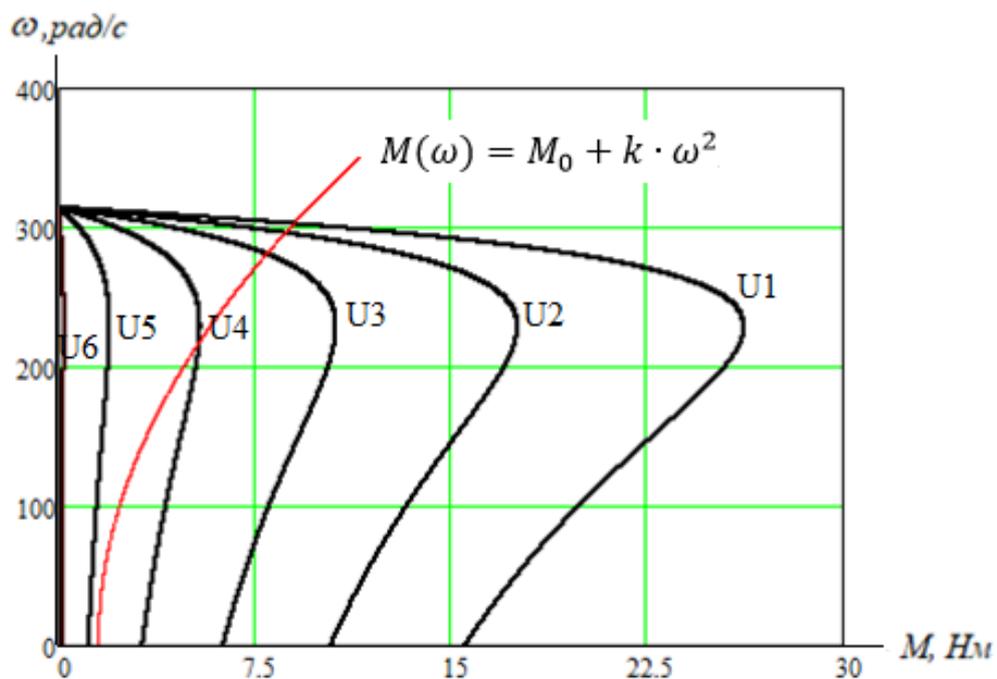


Рис.4.3. Механические характеристики при  $U=var$

Анализируя полученные механические характеристики, следует сказать, что при номинальной постоянной нагрузке практически во всём диапазоне

регулирования напряжения двигатель не запустится. При изменении напряжения статора критический и пусковой момент асинхронного двигателя уменьшаются пропорционально квадрату фазного напряжения. Регулирование скорости происходит за счёт изменения жёсткости характеристик.

Когда напряжение  $U=60\text{В}$  или меньше двигатель не запустится, тогда найдем минимальное напряжение:

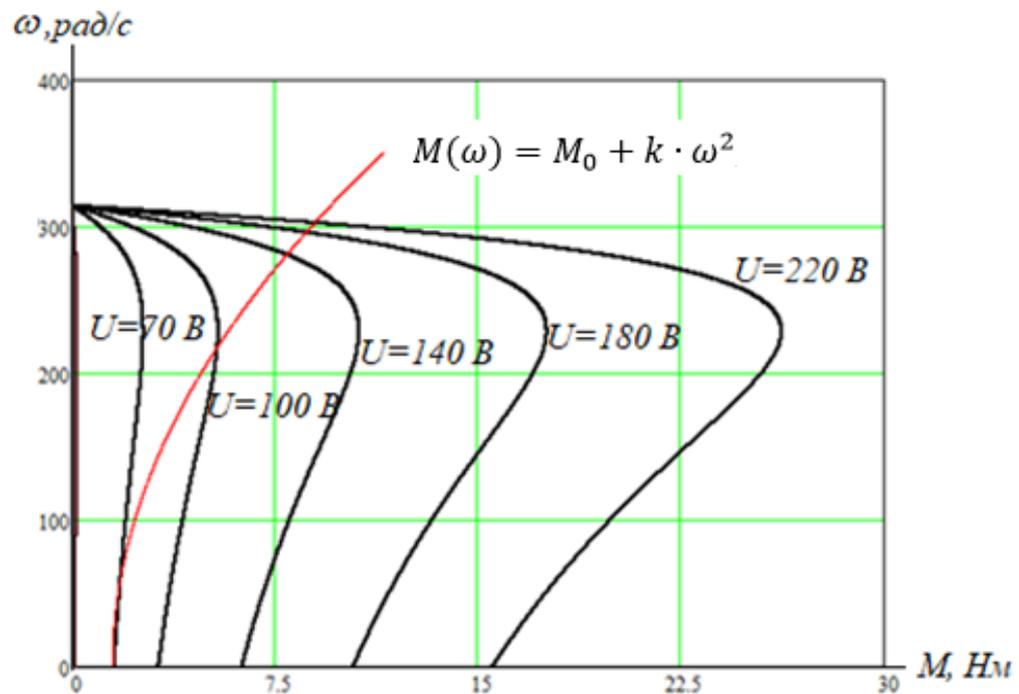


Рис.4.4. Механические характеристики при  $U=var$

Из графики можно видеть что при  $U = 70\text{В}$  двигатель запустится. Приблизительно найдем минимальное напряжения из графики (рис.4.4) при  $U=100\text{В}$  не устойчиво. А  $U=140\text{В}$  рабочее, значит примерно  $U_{min} = 140\text{В}$ .

Полученное семейство характеристик благоприятно для работы ЭП на вентиляторную нагрузку.

Пример расчета для  $I_{01}, I_{11}(s), \omega_{11}(s)$ :

$$I_{01} = \frac{U \cdot \frac{f_1}{f}}{\sqrt{R_1 + (X_1 + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f}\right)^2}}; \quad I_{11}(s) = \frac{U \cdot \frac{f_1}{f}}{\sqrt{\left(X_{kn} \cdot \frac{f_1}{f}\right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 \cdot \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f}}\right)^2}};$$

$$\omega_{11}(s) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f} \cdot (1 - s).$$

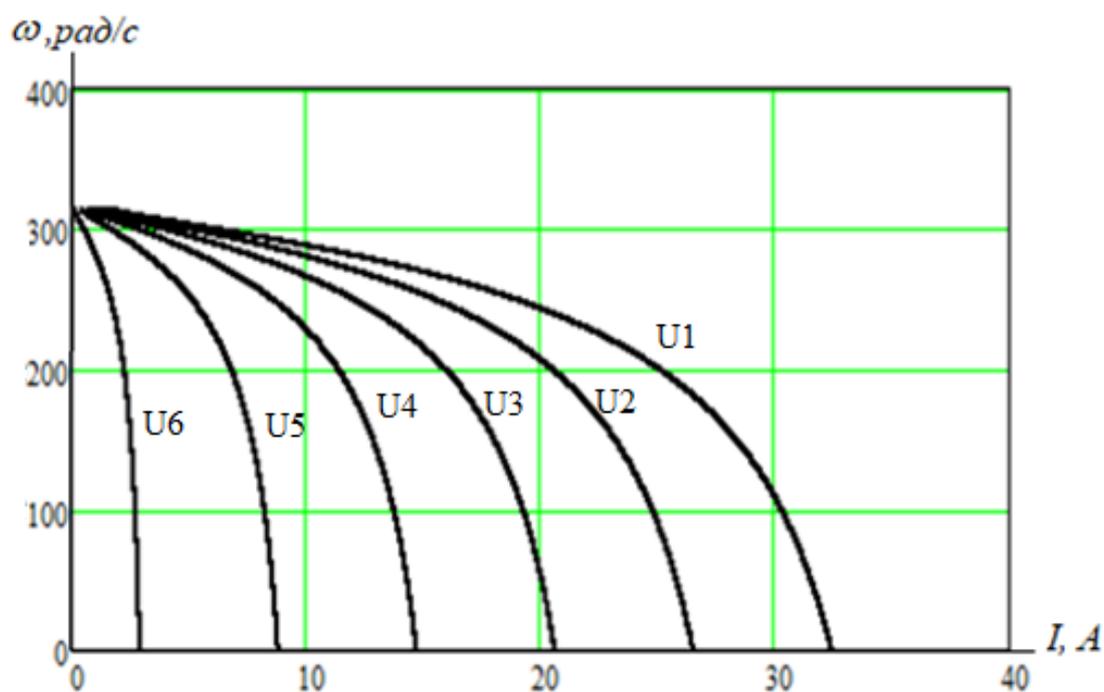


Рис.4.5. Электромеханическая характеристика при  $U = \text{var}$

Анализируя полученные электромеханические характеристики, пропорционально напряжению уменьшается ток короткого замыкания, что благоприятно сказывается на период эксплуатации двигателя и на динамику электропривода, однако решающее значение имеют механические характеристики.

#### 4.4 Расчет статической нагрузки электропривода

Рассчитаем нагрузку, которую будет обеспечивать данный вентилятор. Уравнение, описывающее вентиляторную нагрузку, выглядит следующим образом:

Рассчитаем нагрузку, которую будет обеспечивать данный вентилятор. Уравнение, описывающее вентиляторную нагрузку, выглядит следующим образом:

$$M(\omega) = M_0 + k \cdot \omega^2.$$

Значение, как правило, принимается равным примерно  $0,15 \cdot M_H$ :

$$M_0 = 0,15 \cdot M_H = 0,15 \cdot 10,052 = 1,508 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Также нужно знать значение коэффициента  $k$ , который можно найти из уравнения вентиляторной нагрузки при задании номинального значения момента и скорости электродвигателя:

$$k = \frac{M_H - M_0}{\omega_H^2} = \frac{10,052 - 1,508}{298,451^2} = 9,592 \cdot 10^{-5}.$$

Следовательно, уравнение вентиляторной нагрузки электродвигателя примет следующий вид:

$$M(\omega) = 1,508 + 9,592 \cdot 10^{-5} \cdot \omega^2.$$

Механическая характеристика с вентиляторной нагрузкой на валу электродвигателя представлена на рис.4.6:

$$M_H = 9,549 \text{ Нм}; \quad M_{кр} = 26,238 \text{ Нм}.$$

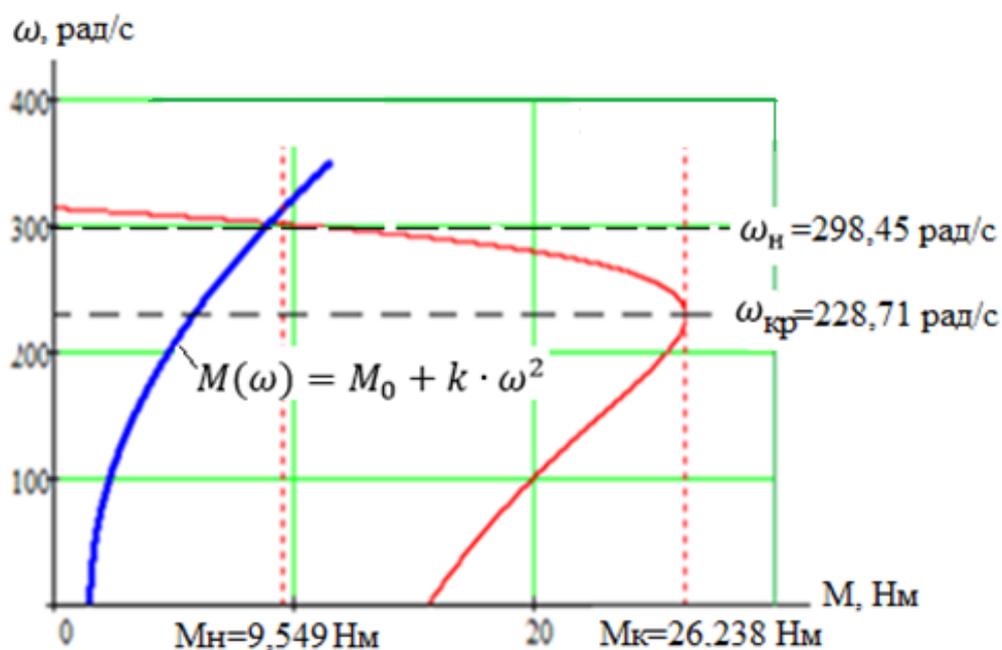


Рис.4.6. Естественная механическая характеристика АД с вентиляторной нагрузкой на валу

#### 4.5 Расчет энергетических показателей электропривода

Оценка эффективности и качества электромеханического преобразователя энергии электропривода осуществляется с помощью энергетических показателей, к числу которых относятся коэффициент полезного действия, коэффициент мощности, потери мощности и потери энергии [30].

В общем случае потери мощности и энергии в электроприводе складываются из потерь в электродвигателе, механической передаче, силовом преобразователе и системе управления.

*Номинальный режим двигателя.*

Полная мощность потерь:

$$\Delta P_H = P_H \left( \frac{1}{\eta_H} - 1 \right) = 3000 \cdot \left( \frac{1}{0,845} - 1 \right) = 550,29 \text{ Вт.}$$

Переменная составляющая потери мощности:

$$\begin{aligned} \Delta P_{V.H} &= M_H (\omega_0 - \omega_H) \cdot \left( 1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) = 10,052 \cdot (314,159 - 298,45) \cdot \left( 1 + \frac{2,591}{1,692} \right) \\ &= 418,32 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Постоянная составляющая потери мощности:

$$\Delta P_{C.H} = \Delta P_H - \Delta P_{V.H} = 550,29 - 418,32 = 131,967 \text{ Вт.}$$

Коэффициент потер мощности:

$$a = \frac{\Delta P_{C.H}}{\Delta P_{V.H}} = \frac{131,697}{418,32} = 0,315.$$

*Активная энергия.*

Полезный расход энергии (механическая работа):

$$A_2 = M_c \cdot \omega_c \cdot t_c = 10,052 \cdot 298,45 \cdot 28800 = 8,6 \cdot 10^7, \text{ Вт} \cdot \text{с},$$

где  $t_c$ - время установившегося режима принимаем равным время смены (8 часов);

$\omega_c$ - соответственно угловая скорость.

Постоянная составляющая потери мощности:

$$\Delta A_C \approx \Delta P_{C.H} \cdot t_c = 131,967 \cdot 28800 = 3,8 \cdot 10^6, \text{ Вт} \cdot \text{с}.$$

Приведенный фазный ток ротора в установившемся режиме:

$$I_2' = \frac{U_{1\Phi}}{\sqrt{\left( R_1 + \frac{R_2'}{S_k} \right)^2 + X_k^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left( 2,591 + \frac{1,692}{0,272} \right)^2 + 5,65^2}} = 2,008 \text{ А.}$$

Переменная составляющая потери мощности:

$$\Delta A_V = 3 \cdot [I_0^2 \cdot R_1 + (I_2')^2 \cdot (b \cdot R_1 \cdot R_2')] \cdot t_c,$$

где  $b$ - поправочный коэффициент

$$b = 1 + \frac{2 \cdot I_0 \cdot X_k}{U_1} = 1 + \frac{2 \cdot 1,636 \cdot 5,65}{220} = 1,084,$$

$$\begin{aligned}\Delta A_V &= 3 \cdot [1,36^2 \cdot 2,591 + 2,008 \cdot (1,084 \cdot 2,591 \cdot 1,692)] \cdot 28800 \\ &= 1,24 \cdot 10^6 \text{ Вт} \cdot \text{с}.\end{aligned}$$

Потребляемая из сети энергия:

$$A_1 = A_2 + \Delta A_C + \Delta A_V = 8,6 \cdot 10^7 + 3,8 \cdot 10^6 + 1,24 \cdot 10^6 = 9,1 \cdot 10^7 \text{ Вт} \cdot \text{с}.$$

*Реактивная энергия.*

Потребление реактивной энергии:

$$\Delta A_P = \sum_{i=1}^n 3 \cdot [I_0^2 \cdot (X_1 + X_\mu) + (I'_{2i})^2 \cdot (X_1 + X'_2)] \cdot t_{ci},$$

где n- число установившихся режимов.

Тогда:

$$\Delta A_P = 2,2 \cdot 10^7 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

*Энергетические показатели электропривода.*

$$\eta_\Sigma = \frac{\sum A_2}{\sum A_1} \cdot 100\% = \frac{8,6 \cdot 10^7}{9,1 \cdot 10^7} \cdot 100\% = 94,5\%,$$

где  $\sum A_2$ - суммарная расход полезной энергии за цикл;

$\sum A_1$ -суммарная потребление энергии из сети за цикл.

Энергетический коэффициент мощности электропривода:

$$\cos \varphi_\Sigma = \frac{\sum A_2}{\sqrt{(\sum A_2)^2 + (\sum A_P)^2}} = \frac{8,6 \cdot 10^7}{\sqrt{(8,6 \cdot 10^7)^2 + (2,2 \cdot 10^7)^2}} = 0,97.$$

## 5.Динамические характеристики электропривода

### 5.1 Исследование прямого пуска АД от сети

В результате исследования были сконструированы имитационные модели: модель АД в неподвижной системе координат; АД с вентиляторной нагрузкой в неподвижной системе координат; модель силового канала с вентиляторной нагрузкой в замкнутой системе ТРН-АД. Перед этим были заданы нижеприведенные допущены:

- параметры обмоток всех фаз имеют одинаковые значения, т.е. осуществляется симметричный режим работы;

- магнитное поле электрической машины синусоидально распределено вдоль воздушного зазора;
- не учитываются потери в стали, вызываемые протеканием вихревых токов в магнитопроводе двигателя и его перемагничиванием;
- пренебрегаем насыщением магнитной цепи АД;
- эффект вытеснения токов в проводниках ротора практически отсутствует.

Структурная схема модели асинхронного двигателя в неподвижной системе координат представлена на рис.5.1.

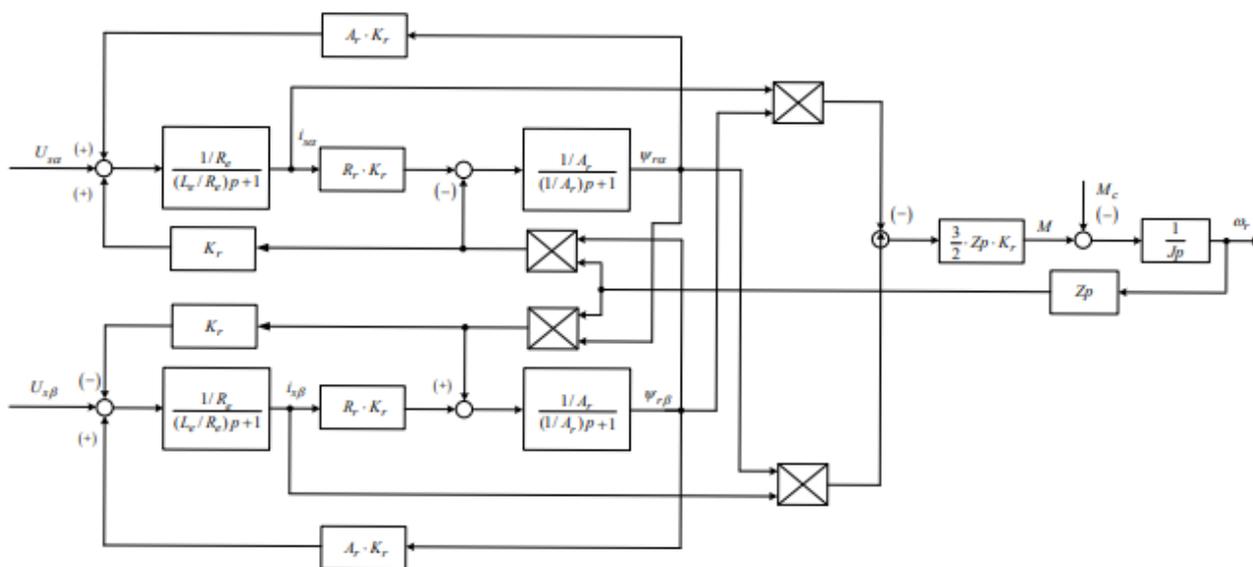


Рис.5.1 Структурная схема модели асинхронного двигателя в неподвижной системе координат

Расчет параметров структурных схем АД. Параметры двигателя приведены в таблице 5.1.

Таблицы 5.1

Типоразмер электродви- гателя	P <sub>2ном</sub> , кВт	Энергетические показатели		Параметры схемы замещения, о.е.				
		ηн, %	cosφн	x'μ	в номинальном режиме работы			
					R'1	x'1	R'2	x'2
АИР90L2	3,0	84,5	0,88	3,4	0,072	0,057	0,047	0,10

Типоразмер электродвигателя	Механическая характеристика				$k_i$	$J_{\text{дв.кг-м}^2}$
	$m_n$ $= \frac{M_{\text{пуск}}}{M_n}$	$m_M$ $= \frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$	$m_k$ $= \frac{M_{\text{пуск}}}{M_n}$			
АИР90L2	2,0	1,6	2,2	АИР90L2	2,0	1,6

Произведем расчет параметров, необходимых для построения структурной схемы.

Соотношение для расчета критического скольжения (в первом приближении принимаем коэффициент  $\beta=1$ ):

$$s_k = s_n \cdot \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} = 0,238.$$

Ряд промежуточных коэффициентов для определения внутренних параметров двигателя:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_n} = 1,021,$$

$$A_1 = \frac{3 \cdot U^2 \cdot (1 - s_n)}{2 \cdot k_i \cdot I_n} = 10,238.$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора:

$$R_2 = \frac{A_1}{(\beta + \frac{1}{s_n}) \cdot C_1} = 1,929 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статорной обмотки:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2 \cdot \beta = 1,969 \text{ Ом.}$$

Параметр  $\gamma$ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = 4,08.$$

Сопротивление короткого замыкания:

$$X_{kn} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2 = 8,032 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X_2 = \frac{0.58 \cdot X_{kn}}{C_1} = 3,211 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки:

$$X_1 = 0.42 \cdot X_{kn} = 3,373 \text{ Ом.}$$

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

$$E_m = \sqrt{(U \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_n)^2 + (U \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} - X_1 \cdot I_n)^2} = 200,02.$$

Индуктивное сопротивление намагничивания определится как:

$$X_m = \frac{X_m}{I_0} = 113,133 \text{ Ом.}$$

Индуктивность рассеяния статорной обмотки:

$$L_{\sigma 1} = \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f} = 0,011 \text{ Ом.}$$

Индуктивность рассеяния роторной обмотки, приведенная к статорной:

$$L_{\sigma 2} = \frac{X_2}{2 \cdot \pi \cdot f} = 0,01 \text{ Ом.}$$

Полная индуктивность цепи статора:

$$L_1 = L_{\sigma 1} + L_m = 0,401 \text{ Ом.}$$

Полная индуктивность цепи ротора:

$$L_2 = L_{\sigma 2} + L_m = 0,4 \text{ Ом.}$$

Коэффициенты для расчета динамики двигателя:

$$L_e = L_1 - \frac{L_m^2}{L_2} = 0,021,$$

$$R_e = R_1 - R_2 \cdot \frac{L_m^2}{L_2} = 3,8,$$

$$A_r = \frac{R_2}{L_2} = 4,82,$$

$$K_m = \frac{3}{2} \cdot K_r \cdot z_p = 1,462.$$

Момент инерции принимаем удвоенному моменту инерции двигателя:

$$J = 2 \cdot J_{дв} = 0,007 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Переход от трехфазной системы напряжений

$$\begin{cases} U_A(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t), \\ U_B(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t - 120^\circ), \\ U_C(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t + 120^\circ), \end{cases}$$

к неподвижной двухфазной

$$\begin{cases} U_\alpha(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t), \\ U_\beta(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \cos(314 \cdot t), \end{cases}$$

осуществляется с помощью прямого преобразования Кларка:

$$U_\alpha(t) = U_A(t); \quad U_\beta(t) = \frac{U_A(t) + 2 \cdot U_B(t)}{\sqrt{3}}.$$

Модуль и угол поворота вектора потокосцепления рассчитываются по формулам

$$|\Psi_r| = \sqrt{\Psi_{r\alpha}^2 + \Psi_{r\beta}^2}; \quad \theta_{\Psi_r} = \text{arctg} \left( \frac{\Psi_{r\beta}}{\Psi_{r\alpha}} \right).$$

На основании полученных данных построим структурную схему электропривода (на рис.5.2).

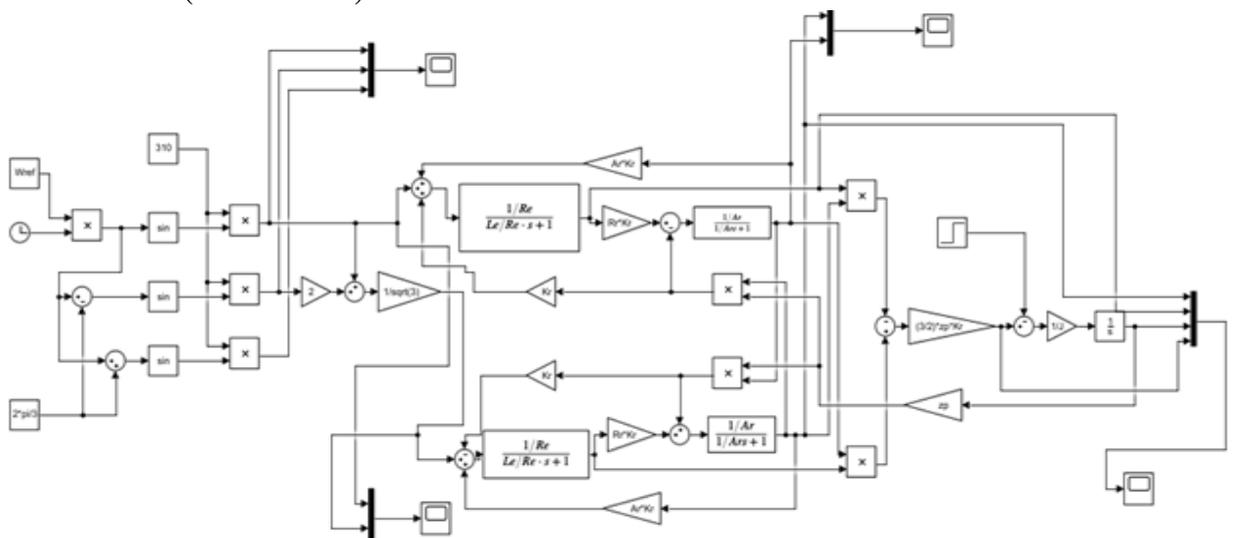


Рис.5.2. Имитационная модель асинхронного двигателя в неподвижной системе координат в программной среде MATLAB Simulink

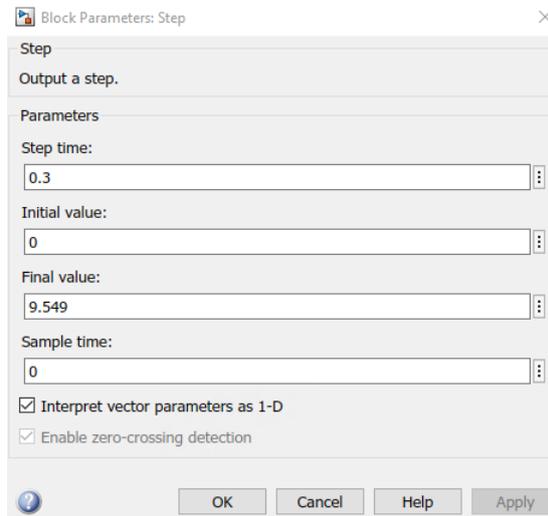


Рис.5.3. Нагрузка, которая будет обеспечивать данный вентилятор

Результаты испытаний представлены на рис.5.4, 5.5 и 5.6 при разных напряжениях

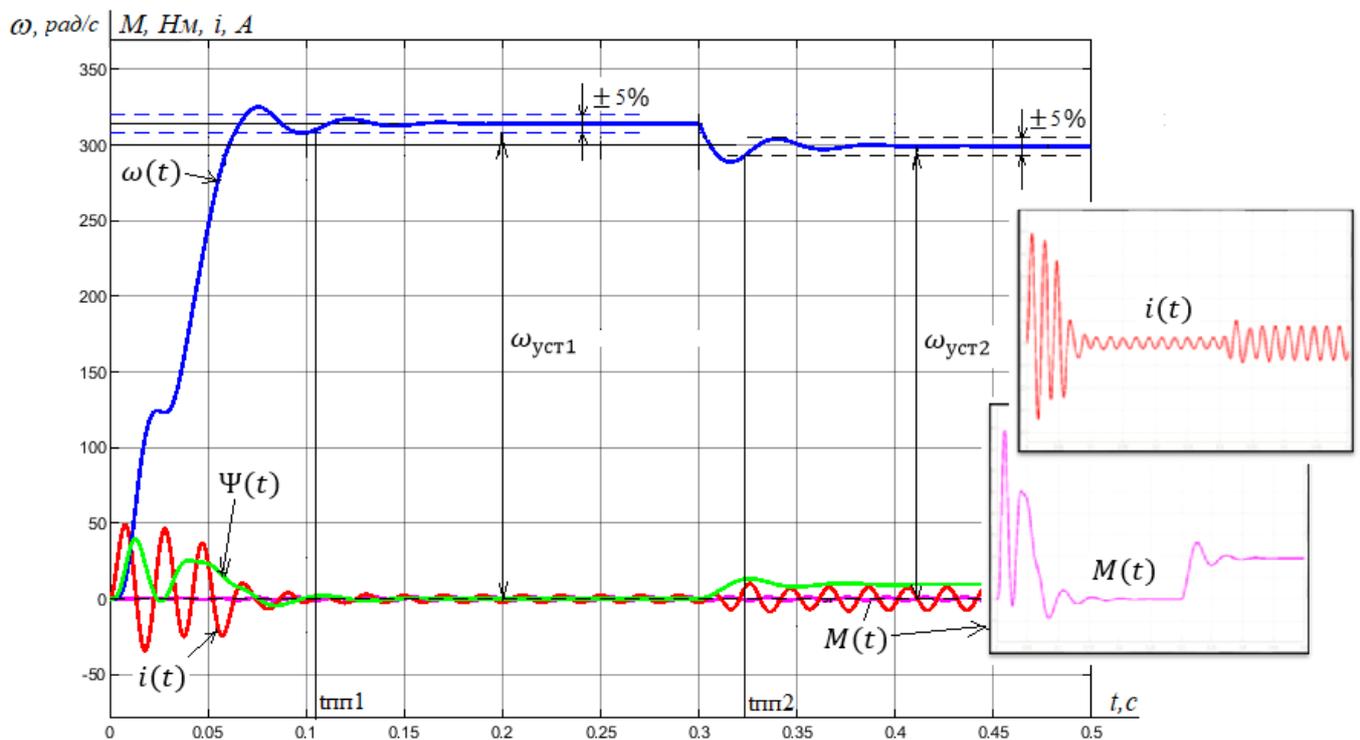


Рис.5.4. Переходные процессы в АД при пуске с набросом нагрузки  $U=220V$

Результаты обработки характеристик (рис.5.4) приведены в таблице 5.2.

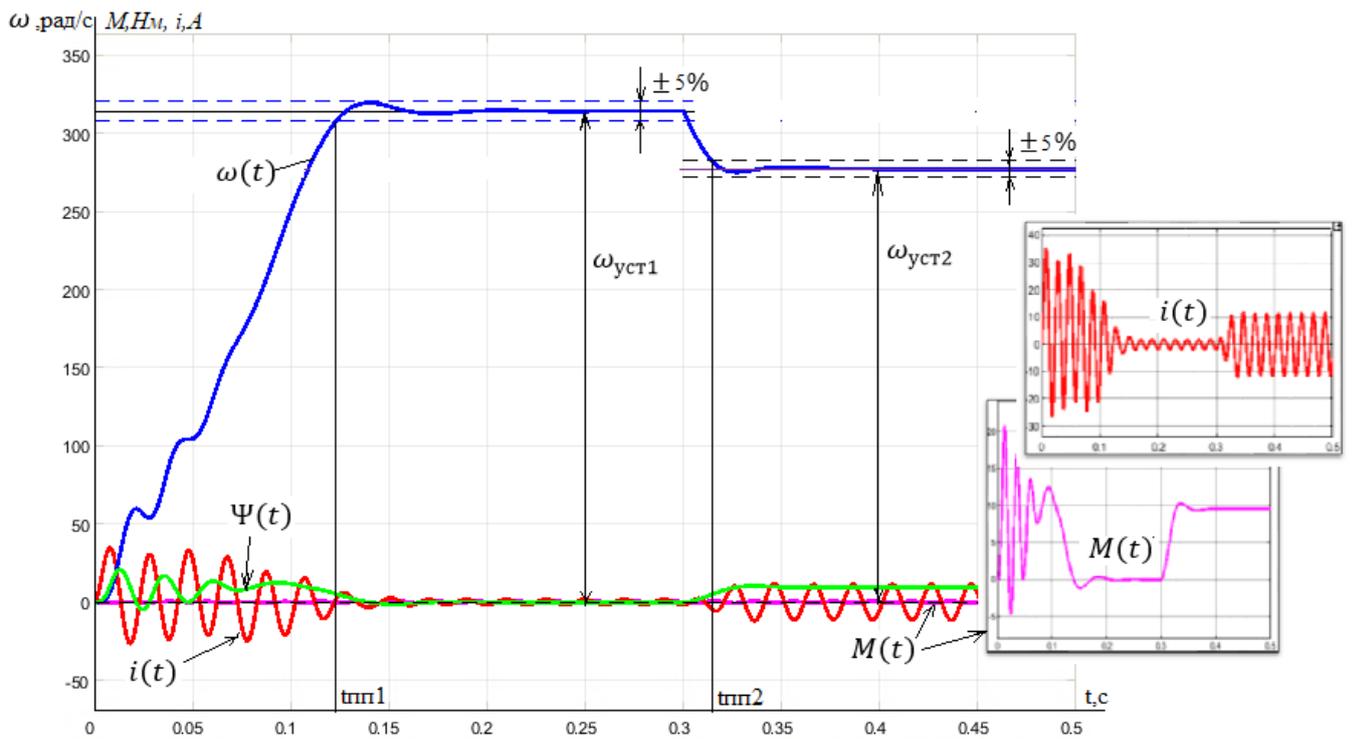


Рис.5.5. Переходные процессы в АД при пуске с набросом нагрузкой  $U=156В$

Результаты обработки характеристик (рис.5.5) даны в таблице 5.3.

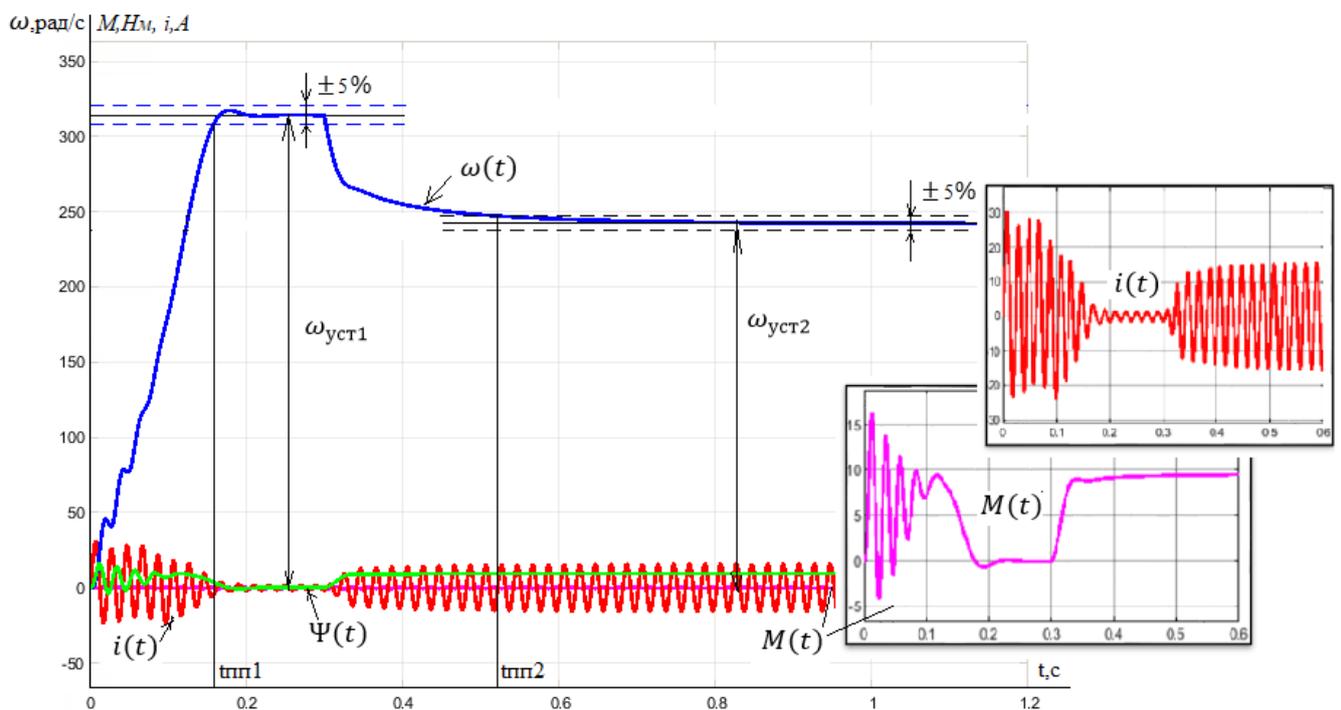


Рис.5.6. Переходные процессы в АД при пуске с набросом нагрузкой  $U=136В$

Минимальное напряжение  $U=136В$ .

Результаты обработки характеристик (рис.5.6) изображены в таблице 5.4.

Таблица 5.2

	$t_{пп}$ , с	$M_{нач}$ , Нм	$M_{уст}$ , Нм	$M_{мах}$ , Нм	$\omega_{нач}$ , рад/с	$\omega_{уст}$ , рад/с	$\omega_{мах}$ , рад/с	$i_{нач}$ , А	$i_{мах}$ , А
Пуск без нагрузки	0,11	0	0	39,4	0	314,2	325,1	0	49
Наброс нагрузки	0,32	0	9,55	13,2	314,2	299,2	304,0	2,4	10

Таблица 5.3

	$t_{пп}$ , с	$M_{нач}$ , Нм	$M_{уст}$ , Нм	$M_{мах}$ , Нм	$\omega_{нач}$ , рад/с	$\omega_{уст}$ , рад/с	$\omega_{мах}$ , рад/с	$i_{нач}$ , А	$i_{мах}$ , А
Пуск без нагрузки	0,12	0	0	20,8	0	314,2	319,3	0	34,8
Наброс нагрузки	0,32	0	9,55	10,3	314,2	277,1	278,4	2,4	11,8

Таблица 5.4

	$t_{пп}$ , с	$M_{нач}$ , Нм	$M_{уст}$ , Нм	$M_{мах}$ , Нм	$\omega_{нач}$ , рад/с	$\omega_{уст}$ , рад/с	$\omega_{мах}$ , рад/с	$i_{нач}$ , А	$i_{мах}$ , А
Пуск без нагрузки	0,16	0	0	16,2	0	314,2	317,2	0	30,6
Наброс нагрузки	0,52	0	9,48	9,5	314,2	242,0	314,2	2,4	15,42

## 5.2 Исследование прямого пуска АД с вентиляторной нагрузкой

Для исследования данных процессов используем схему рис.5.7.

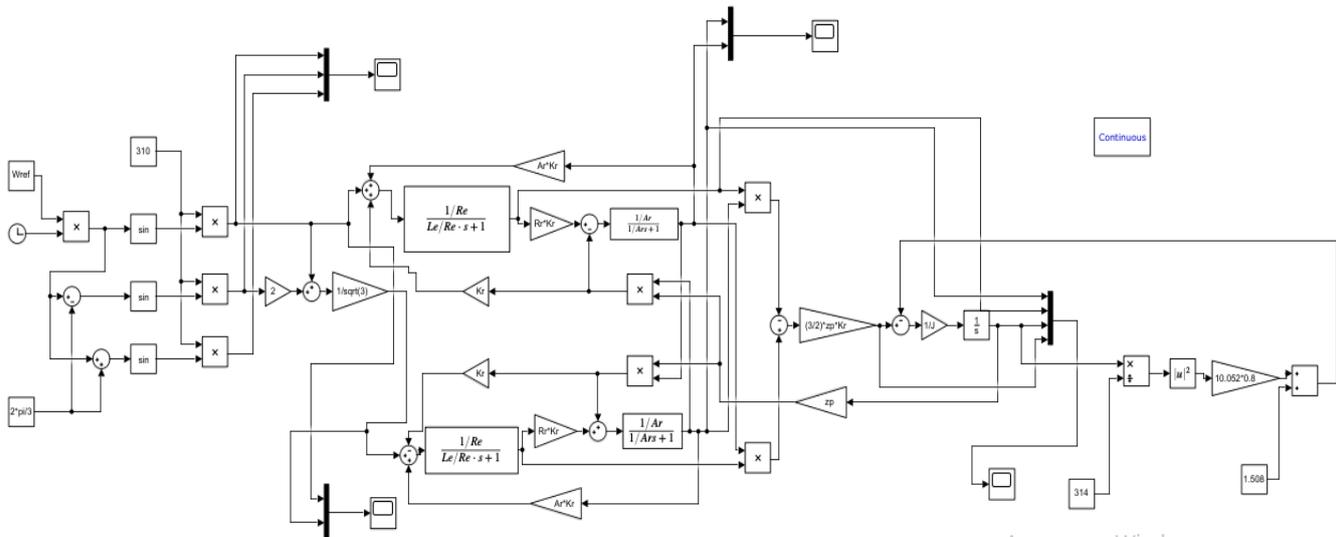


Рис.5.7 Имитационная модель асинхронного двигателя с вентиляторной нагрузочной схемой в неподвижной системе координат в программной среде MATLAB Simulink

Результаты испытаний представлены на рис.5.8.

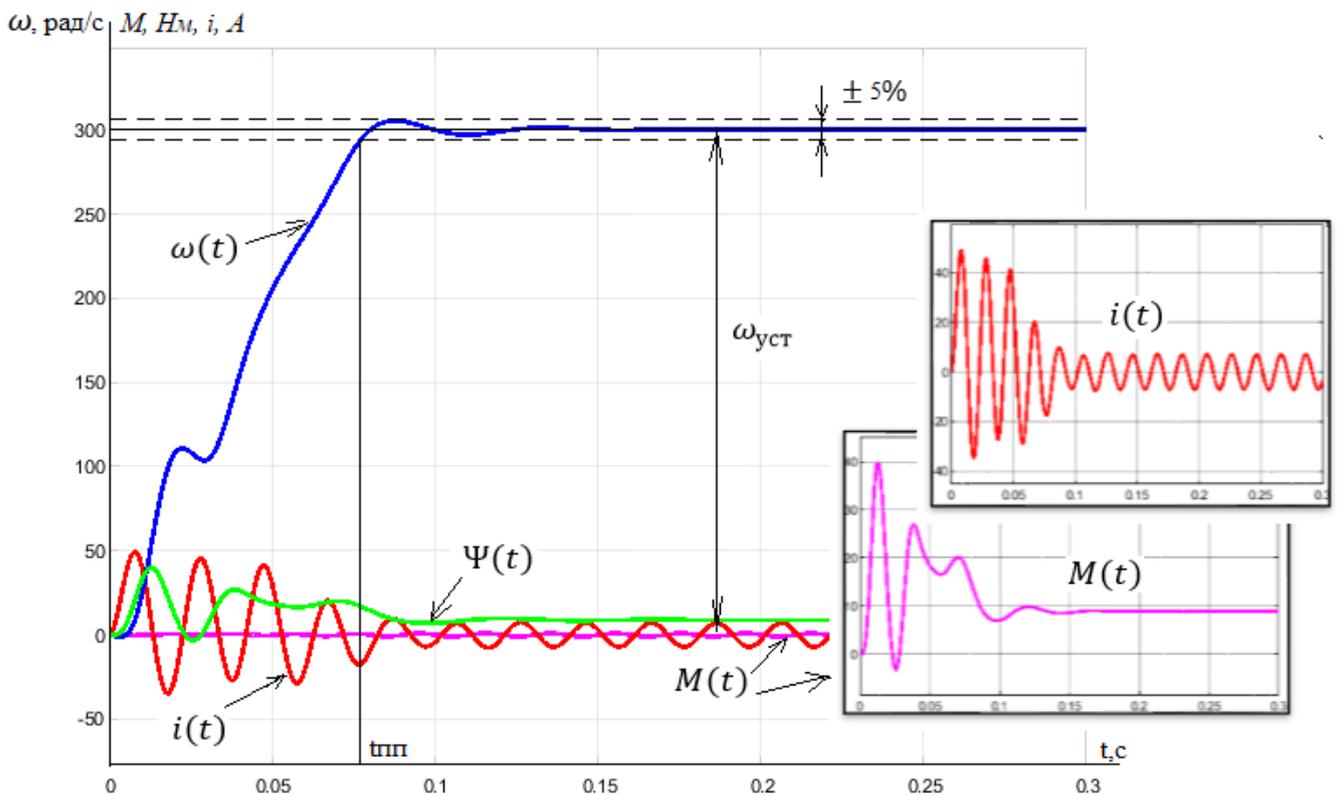


Рис.5.8 Переходные процессы в АД при пуске с вентиляторной нагрузкой

$$U=220V$$

Результаты обработки характеристик (рис.5.8) приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5

	$t_{пп}$ , с	$M_{нач}$ , Нм	$M_{уст}$ , Нм	$M_{мах}$ , Нм	$\omega_{нач}$ , рад/с	$\omega_{уст}$ , рад/с	$\omega_{мах}$ , рад/с	$i_{нач}$ , А	$i_{мах}$ , А
Пуск с нагрузкой	0,08	0	8,8	38,8	0	300,4	305,5	0	49,1

### 5.3 Имитационная модель плавный пуск АД с помощью ТРН замкнутой системы

Для исследования данных процессов принимаем схемы рис.5.9, 5.10, 5.11 и 5.12.

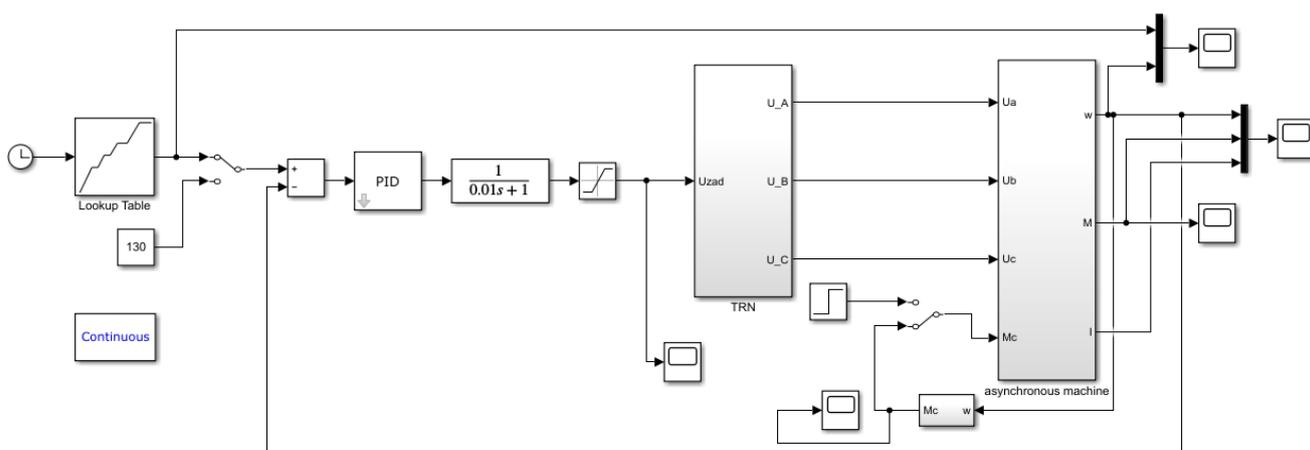


Рис.5.9. Имитационная модель силового канала с вентиляторной нагрузкой в замкнутой системе ТРН-АД в программной среде MATLAB Simulink

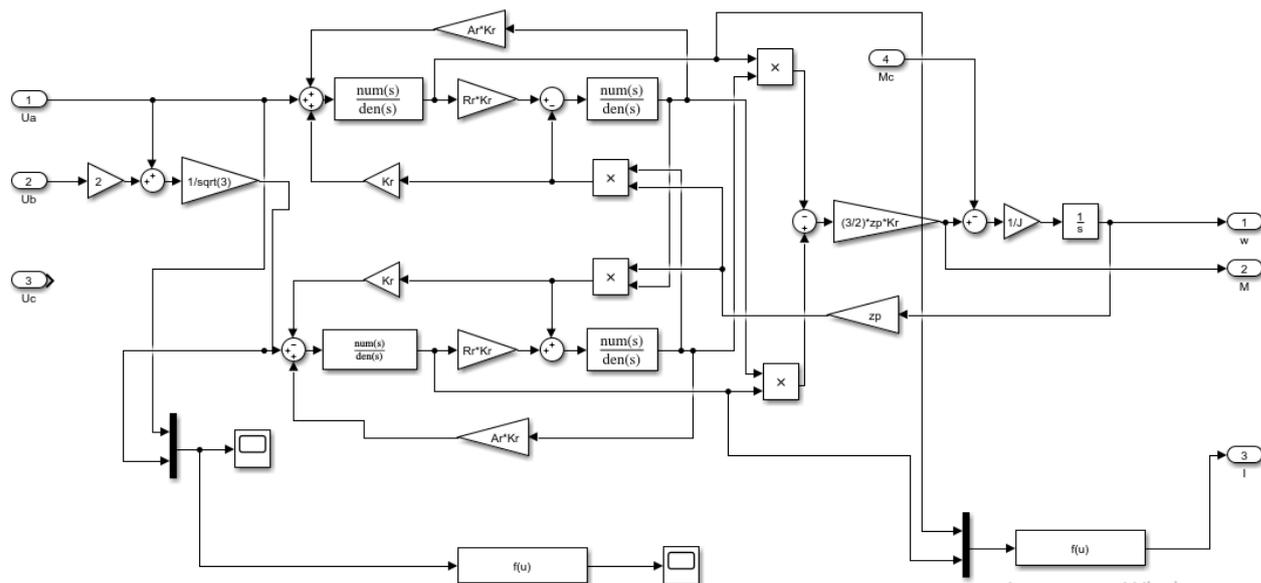


Рис.5.10. Имитационная модель трехфазного асинхронного двигателя в неподвижной системе координат

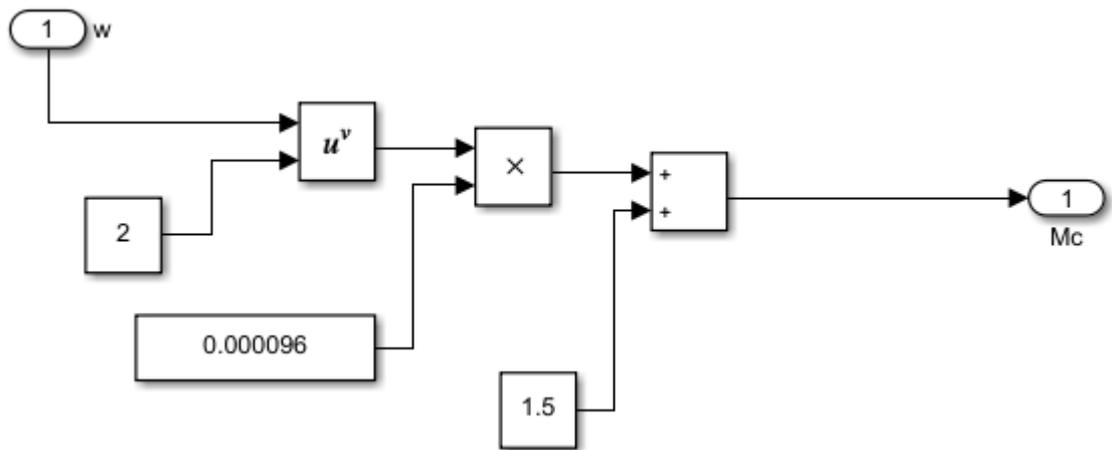


Рис.5.11. Имитационная модель с моментом нагрузки реактивного характера

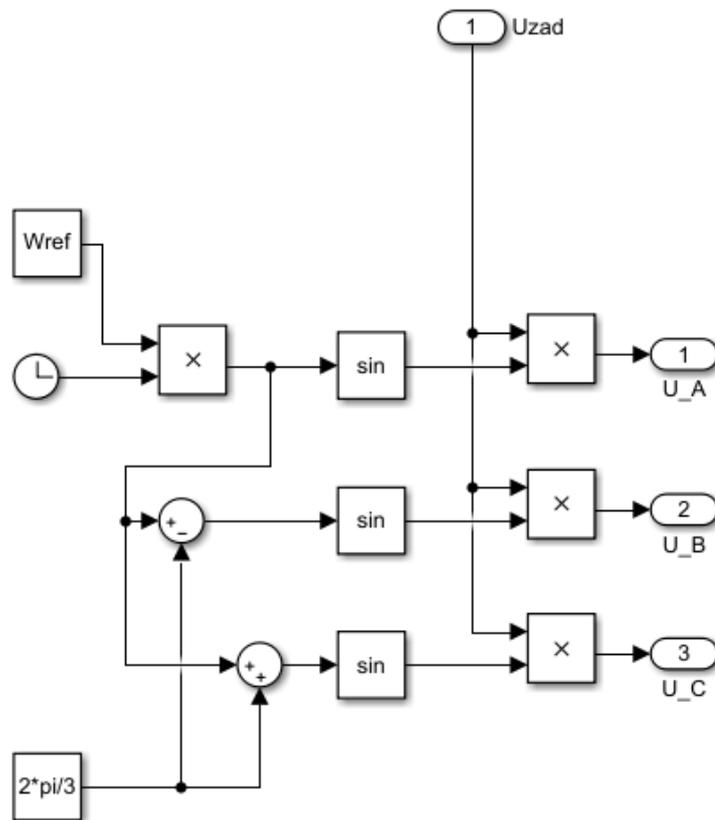


Рис.5.12. Имитационная модель подсистемы, представляющей собой источник синусоидальных напряжений

Результаты испытаний представлены на рис.5.13, 5.14, 5.15 и 5.16.

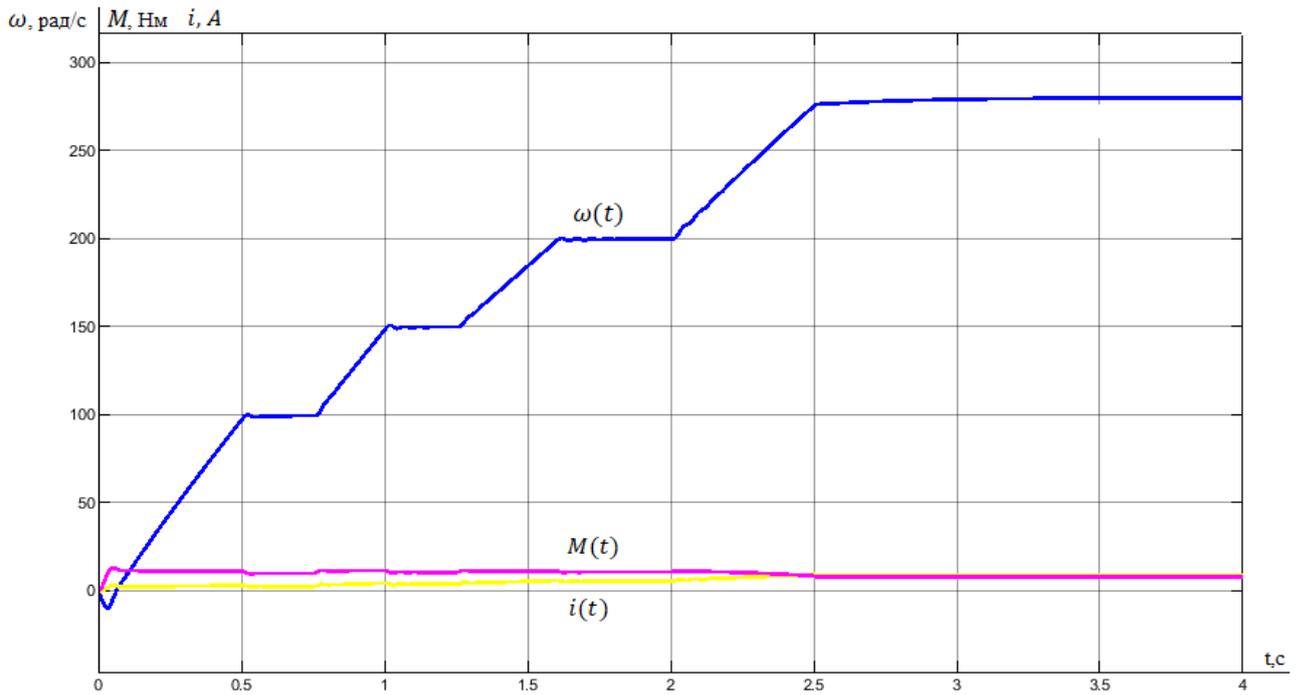


Рис.5.13.Переходные процессы в АД при плавном пуске с вентиляторной нагрузкой  $\omega(t), M(t), i(t)$

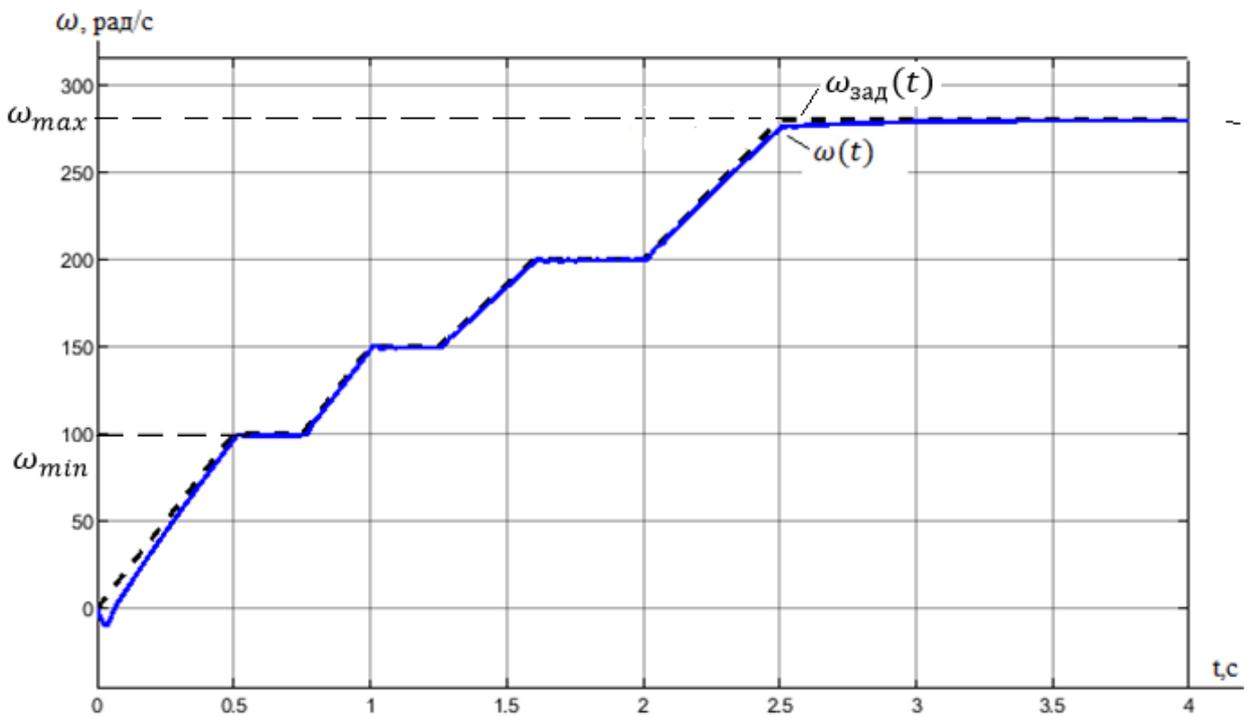
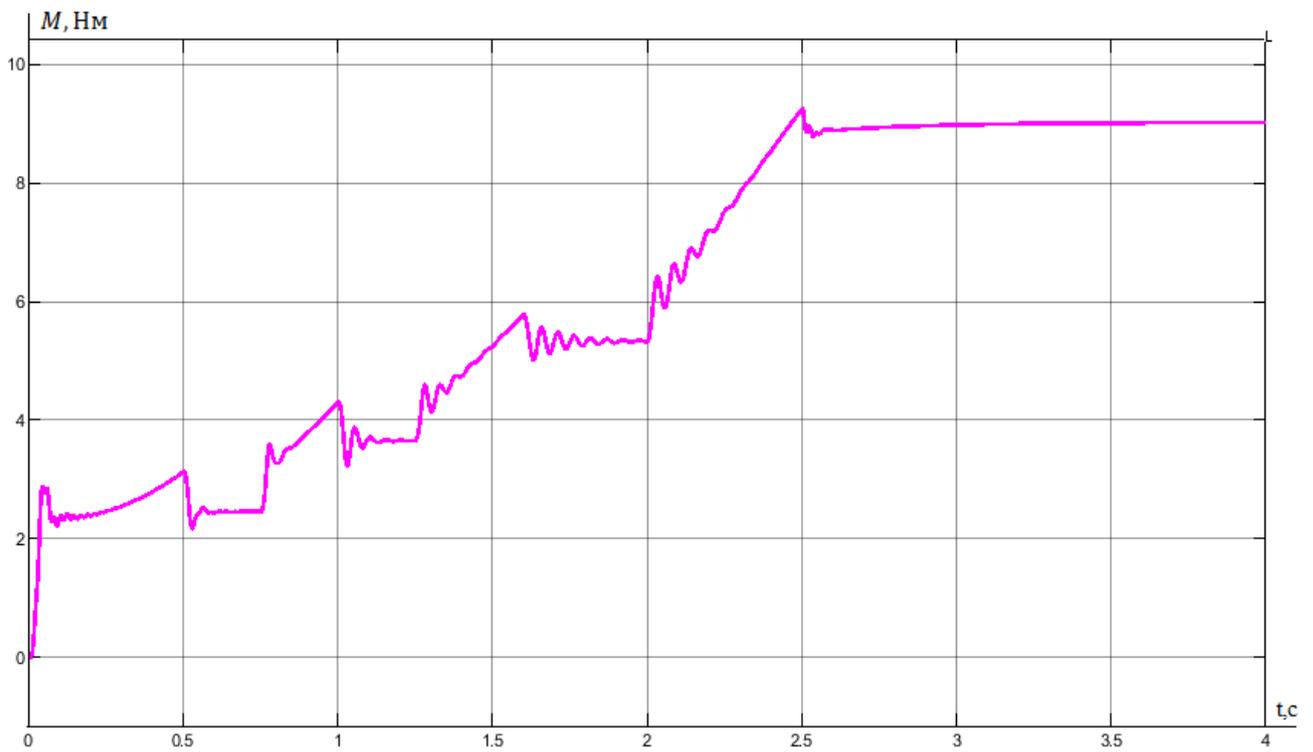


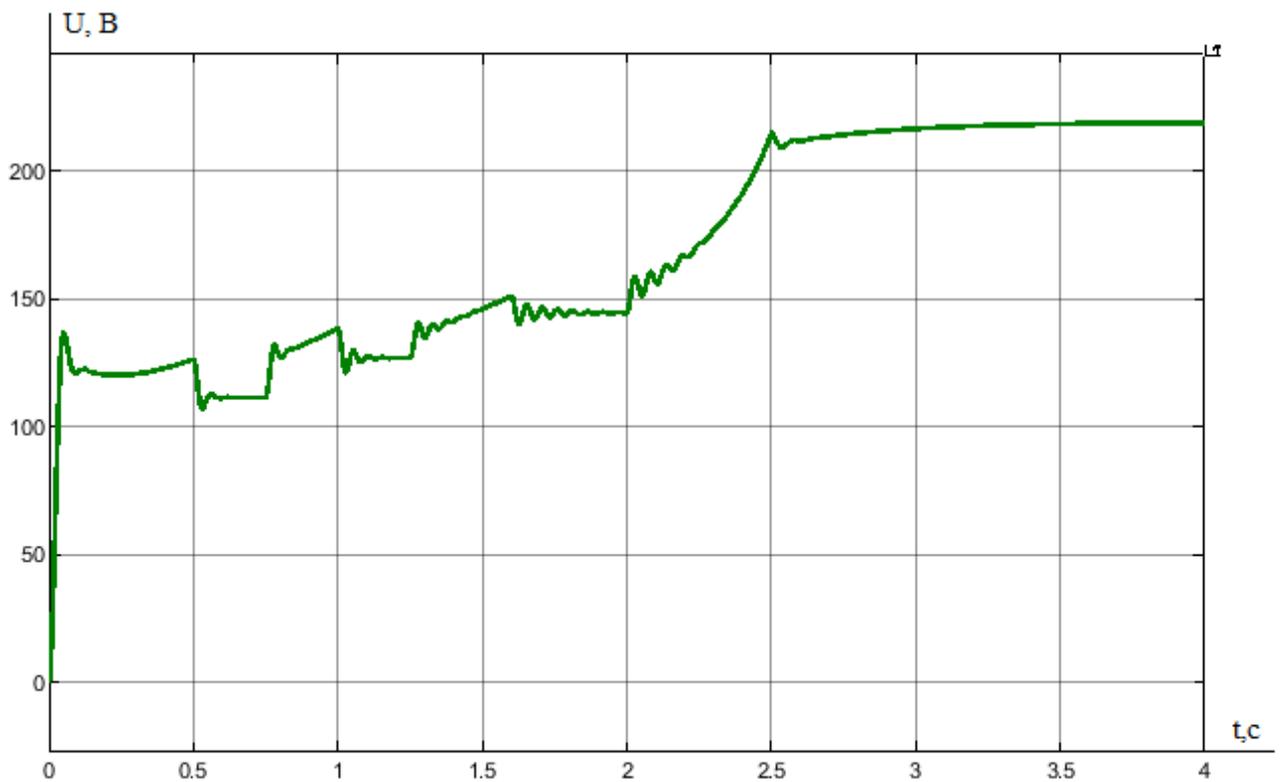
Рис.5.14. Переходный процесс АД по скорости при плавном пуске с вентиляторной нагрузкой  $\omega_{зад}(t)$

Из данных рис.5.14 вычисляем диапазон регулирования системы:

$$D = \frac{\omega_{max}}{\omega_{min}} = \frac{280}{100} = 2,8.$$



*Рис.5.15.Переходный процесс момента статора АД при плавном пуске с вентиляторной нагрузкой*



*Рис.5.16. Переходный процесс напряжения статора АД при плавном пуске с вентиляторной нагрузкой*

По результатам исследований были определены параметры системы: диапазон регулирования скорости равен 2,8; время переходного процесса для различных режимов работы; минимальное напряжение равно 136 В. Эти показатели полностью удовлетворяют требованиям технического задания для исследуемого электропривода центробежного вентилятора.

А из характеристик переходных процессов можно сказать что, характер  $\omega = f(t)$  переходного процесса носит апериодический вид т.е. плавно изменяется, а переходный процесс  $M = f(t)$  будет колебательным.

На основании проведенных исследований и полученных графиков переходных процессов можно сделать вывод, что устройство плавного пуска действительно помогает избежать всех неблагоприятных воздействий на электропривод, возникающих при запуске в работу вентилятора. Снижается пусковой ток электродвигателя, уменьшаются колебания механического момента в кинематике, что ведет к значительному увеличению срока службы системы, повышению надежности. Также позволяет полностью избежать негативного влияния двигателя на питающую сеть, проявляющуюся в снижении напряжения.

## **6.СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

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

Правовые нормы трудового законодательства изложены в документе «Трудовой кодекс Российской Федерации». Здесь изложены, виды специальных норм трудового права представляют собой следующее:

- Нормы-льготы, предоставляют дополнительные гарантии трудовых прав.
- Нормы-приспособления, подстраивают общие нормы к данным условиям труда.
- Нормы-изъятия, ограничивают общие права.

Особенности трудового законодательства, применительные к условиям выполнения исследовательской деятельности, изложенного в данной работе, дифференцируются в соответствии с условиями труда: тяжесть и вредность труда, климатические условия, прочие особенности труда.

Согласно «ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования», место для работы за ПК и взаиморасположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. При обустройстве рабочего места инженера, необходимо соблюсти основные условия: выбрать наилучшее местоположение оборудования и обеспечить свободное рабочее пространство.

Высота рабочей поверхности должна находиться в пределах 680-760 мм. Высота поверхности с клавиатурой должна быть примерно 650 мм. Рекомендуемая высота сиденья над уровнем пола расположена в пределах 420-550 мм. Сиденье должно быть мягким, передний край закругленным, а спинка – регулируемой. Положение монитора определяется расстоянием считывания (0,6...0,7м.) и углом считывания (20°). Также необходимо предусмотреть возможность регулирования монитора согласно. Рабочее место пользователя

компьютера следует оборудовать подставкой для ног. Пример представлен на рис.6.1.

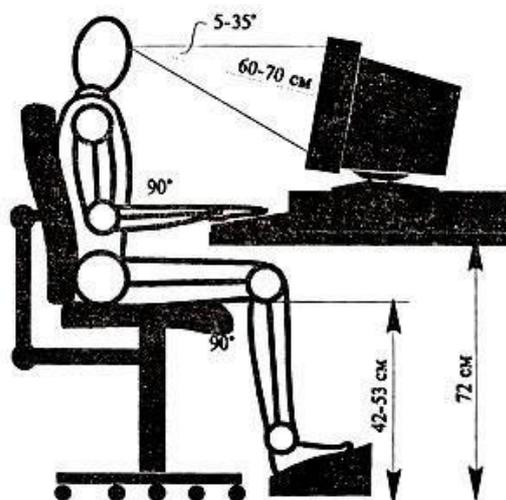


Рис.6.1. Пример правильного расположения работника за ПК

## 6.2 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при эксплуатации тиристорно-регулируемого электропривода [23].

Таблица 6.1 Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготов- -лени	Эксплуа -таци	
1. Повышенный уровень шума		+	+	Требования к параметрам шума устанавливает СП 51.13330.2011.
2. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	Параметры микроклимата устанавливаются согласно СанПиН 2.2.4.548-96
3. Повышенный уровень вибрации		+	+	Производственная вибрация устанавливается СН 2.2.4/2.1.8.566-96.
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	ПУЭ, утвержденный министром энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение

## **Описание технологического процесса и рабочего места**

Технологический процесс разработки и проверки системы ТРН – АД регулируемого электропривода вентиляционной установки заключается в следующем [24]:

- Ознакомление и анализ литературы (статьи, диссертации, учебные пособия и монографии) по данной тематике.
- Компьютерное моделирование системы управления.
- Анализ полученных результатов моделирования.
- Проверка разрабатываемой системы управления на реальном двигателе.
- Анализ полученных результатов проверки.

В описанном технологическом процессе основным оборудованием является:

- исследуемый асинхронный двигатель;
- шкаф диагностики и управления;
- тиристорный преобразователь напряжения;
- пользовательский компьютер;
- монитор.

### **Анализ опасных и вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению**

**Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.**

Поражение электрическим током персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок, рассмотреть следующие вопросы:

- обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- требования к электрооборудованию;

–анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;

–мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;

–обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Рассматриваемая лаборатория не имеет характеристик, свойственных особо опасным помещениям в части поражения электрическим током. Необходимо применение основных коллективных способов и средств электрозащиты: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защитное заземление и защитное отключение.

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

### **Повышенный уровень шума**

Важным фактором, влияющим на организм человека и на качество выполняемой им работы, является шум. Шум – это беспорядочные колебания различной физической природы.

Шумы уровня 70–90 дБ при длительном воздействии оказывают отрицательное влияние на нервную систему человека, на психологическое состояние. Шум может увеличивать содержание гормонов стресса в организме человека: адреналина и кортизола. Длительное присутствие этих гормонов в кровеносной системе приводит к физиологическим проблемам.

Шумы уровня 85–90 дБ отрицательно влияют на слух человека. После воздействия таких шумов человек может испытывать недомогание: головную боль, тошноту, головокружение, повышенную раздражительность.

Шумы уровня более 100 дБ приводят к снижению слуха и могут стать причиной его частичной или полной потери.

При выполнении работ, описанных выше, специалист может оказаться под шумовым воздействием со стороны оборудования, находящегося в рабочем помещении: персональные компьютеры, печатающие устройства, оборудование поддержки микроклимата (кондиционеры, вентиляция) и прочее. Работы, выполняемые специалистом, оцениваются как научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, следовательно, согласно СН2.2.4/2.1.8.562-96 эквивалентный уровень шума в рабочем помещении не должен превышать 50дБА [26].

Наиболее эффективная защита от промышленных шумов находится на этапе архитектурного проектирования с помощью офисных макетов и специальных строительных решений для рабочего места. В качестве дополнительной меры для предотвращения шума можно использовать различные звукоизоляционные корпуса, звуконепроницаемые экраны, звукопоглощающие декоративные материалы.

### **Повышенный уровень вибрации**

Стандарт распространяется на рабочие места, на которых человек подвергается воздействию вибрации, машины и оборудование, и технологические процессы, являющиеся источниками вибрации, согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 [27].

Стандарт не распространяется на подвижной состав железнодорожного транспорта и воздушные суда.

Вибрация - движение точки или механической системы, при котором происходят колебания характеризующих его скалярных величин.

Измерения вибрации следует проводить в диапазоне частот, охватывающем частотный спектр колебаний машины. Ширина диапазона частот зависит от типа машины (например, диапазон частот, необходимый для оценки целостности подшипников качения, должен включать в себя частоты более высокие, чем для машин с подшипниками скольжения).

Обычно измерения проводят в различных точках в двух или трех взаимно перпендикулярных направлениях, что позволяет получить набор значений

параметров вибрации. Под уровнем вибрации машины понимают максимальное значение вибрации, измеренной в одной определенной точке или группе точек в выбранных направлениях, при определенных условиях и установившемся режиме работы.

Вибрационное состояние машин многих типов может быть оценено по уровню вибрации для одной точки измерения. Однако для некоторых машин такой подход является неприемлемым, и уровни вибрации следует определять на основе независимых измерений в ряде точек.

### **Отклонение параметров микроклимата**

Микроклимат (температура, относительная влажность, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения) и содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны должны быть в пределах санитарно-гигиенических норм, что обеспечивается:

–при незначительных перегревах воздуха и умеренных выбросах паров, газов, аэрозоля - применением организованной естественной вентиляции;

–при значительных уровнях теплового воздействия и выбросов загрязнителей - устройством принудительной вентиляции, обеспечивающей снижение температуры воздуха и концентрации загрязнителей до допустимых пределов притоком свежего воздуха в рабочую зону.

Источники интенсивных выбросов загрязнителей должны оборудоваться местной вытяжной вентиляцией непосредственно от них.

При невозможности достижения, нормативных показателей микроклимата воздуха рабочей зоны должна обеспечиваться защита работников средствами индивидуальной защиты и т.д.

Оптимальные нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 6.2. [28]

Таблица 6.2 Оптимальные нормы микроклимата

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22 - 24	21 - 25	60 - 40	0,1
	Iб (140- 174)	21 - 23	20 - 24	60 - 40	0,1
	IIa (175- 232)	19 - 21	18 - 22	60 - 40	0,2
	IIб(233 - 290)	17 - 19	16 - 20	60 - 40	0,2
	III более 290)	16 - 18	15 - 19	60 - 40	0,3
Теплый	Ia (до 139)	23 - 25	22 - 26	60 - 40	0,1
	Iб (140- 174)	22 - 24	21 - 25	60 - 40	0,1
	IIa (175- 232)	20 - 22	19 - 23	60 - 40	0,2
	IIб(233 - 290)	19 - 21	18 - 22	60 - 40	0,2
	III(более 290)	18 - 20	17 - 21	60 - 40	0,3

### Недостаточная освещенность рабочей зоны

Неудовлетворительное освещение может исказить информацию, кроме того, оно вызывает утомление всего организма в целом. Освещение должно обеспечивать выполнение работы без напряжения зрения. Применяют два вида освещения: естественное и искусственное. Для искусственного освещения применяют электрические люминесцентные лампы. Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Нормируемый показатель искусственного освещения составляет 150 лк.

### 6.3 Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

## **Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

Математическая модель асинхронного электропривода на базе ТРН для клиновой задвижки – является программным алгоритмом и не наносит вреда окружающей среде. С точки зрения влияния на окружающую среду можно рассмотреть влияние серверного оборудования при его утилизации.

Большинство компьютерной техники содержит бериллий, кадмий, мышьяк, поливинилхлорид, ртуть, свинец, фталаты, огнезащитные составы на основе брома и редкоземельные минералы. Это очень вредные вещества, которые не должны попадать на свалку после истечения срока использования, а должны правильно утилизироваться.

1. Утилизация компьютерного оборудования осуществляется по специально разработанной схеме, которая должна соблюдаться в организациях:

2. На первом этапе необходимо создать комиссию, задача которой заключается в принятии решений по списанию морально устаревшей или не рабочей техники, каждый образец рассматривается с технической точки зрения.

3. Разрабатывается приказ о списании устройств. Для проведения экспертизы привлекается квалифицированное стороннее лицо или организация.

4. Составляется акт утилизации, основанного на результатах технического анализа, который подтверждает негодность оборудования для дальнейшего применения.

5. Формируется приказ на утилизацию. Все сопутствующие расходы должны отображаться в бухгалтерии.

6. Утилизацию оргтехники обязательно должна осуществлять специализированная фирма.

7. Получается специальная официальной формы, которая подтвердит успешность уничтожения электронного мусора.

После оформления всех необходимых документов, компьютерная

техника вывозится со склада на перерабатывающую фабрику. Все полученные в ходе переработки материалы вторично используются в различных производственных процессах.

#### **Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду**

Процесс исследования представляет из себя работу с информацией, такой как технологическая литература, статьи, ГОСТы и нормативно-техническая документация, а также разработка математической модели с помощью различных программных комплексов. Таким образом процесс исследования не имеет влияния негативных факторов на окружающую среду.

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

#### **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации при эксплуатации электропривода механизма перемещения: возникновение пожара (возгорания) и электропоражение.

Пожары – неконтролируемый процесс горения, которые чреват большими материальными издержками, а часто и человеческими жертвами. Обеспечение пожаробезопасности начинается с определения класса взрывоопасной зоны или класса пожароопасной зоны данного участка.

Согласно [25] классификации производств по пожарной опасности рассматриваемая лаборатория относится к классу Б (наличие горючих волокон или пыли рассматриваемого участка): источником взрыва может послужить короткое замыкание или из - за нарушения электроизоляции. Кроме взрывоопасных зон имеется пожароопасная зона класса П-П. Для этих зон используется специальное оборудование во взрывозащищенном или пожарозащищенном исполнении. Использование электрооборудование во взрывопожарозащищенном исполнении – одно из направлений профилактики, другое направление установка систем взрыва и пожара- сигнализации. Такие системы должны быть установлены на объектах, где воздействие опасных факторов взрыва и пожара может привести к травматизму или гибели людей, этого требует «технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Участок оснащается такой системой, которая включает систему протоколирования информации, формирует управляющую систему тревоги и оповещение о пожаре, для своевременной эвакуации людей. Это другое направление профилактики загораний. Выбор систем взрывоподавления и пожаротушения для участка требует специального рассмотрения и расчетов.

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

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности, разработка схемы действия администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей, формирование внештатной пожарной дружины. При эксплуатации производственного оборудования в атмосфере пожаро- и взрывоопасной пыли и пылевоздушных смесей основным условием безопасности является предотвращение пожаро и взрывоопасных ситуаций, что обеспечивается:

–последовательностью пуска и остановки оборудования, работающего в едином технологическом комплексе, с автоматической блокировкой при ее нарушении;

–светозвуковой сигнализацией срабатывания любой блокировки;

–устройством аварийного отключения приводов;

–датчиками уровня заполнения бункеров, заблокированными с транспортным и другим технологическим оборудованием и др.

### **Вывод по социальной ответственности**

В ходе проведения мер по социальной ответственности был произведен анализ выявленных вредных и опасных факторов. Было рассмотрено влияние объекта на экологическую зону. Рассмотрены ЧС и приняты меры по их устранению. Ознакомились с правовыми и организационными вопросами обеспечения безопасности.

## **7. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Данная оценка является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых мероприятий.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность данного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком; каковы будут его цена и бюджет научного проекта; какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных разработок, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

### Предпроектный анализ

В работе объектом исследования является электропривод центробежного вентилятора. Задача проектирования данной системы заключается в выборе высокоэффективной и энергосберегающей структуры электропривода для данного объекта.

Анализ технической литературы, проработка материалов различных научных конференций, а также техническое задание к проектированию позволили выбрать систему электропривода вентилятора с использованием схем на современных полупроводниковых элементах, а именно тиристорного регулятора напряжения с асинхронным электродвигателем.

Проведенные расчеты и моделирование данной системы показали, что она полностью удовлетворяет всем требованиям задания и социальной ответственности.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что потенциальному потребителю выгодно использовать данный продукт.

## **7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

### **7.1.1 Технология QuaD**

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразно вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

1. Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:
  - влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
  - перспективность рынка;
  - пригодность для продажи;
  - перспективы конструирования и производства;
  - финансовая эффективность;
  - правовая защищенность и др.
2. Показатели оценки качества разработки:
  - динамический диапазон;
  - вес;
  - ремонтпригодность;
  - энергоэффективность;
  - долговечность;
  - эргономичность;
  - унифицированность;
  - уровень материалоемкости разработки и др.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценка проводится в табличной форме (табл. 7.1).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по сто балльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 7.1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Мах. балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5*2)*100%
1	2	3	4	5	6
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
1. Энергоэффективность	0,07	95	100	0,95	6,65
2. Помехоустойчивость	0,12	87	100	0,87	10,44
3. Надежность	0,03	90	100	0,9	2,7
4. Унифицированность	0,11	90	100	0,9	9,9
5. Уровень материалоемкости разработки	0,06	97	100	0,97	5,82
6. Уровень шума	0,03	80	100	0,8	2,4
7. Безопасность	0,01	80	100	0,8	2,4
8. Потребность в ресурсах памяти	0,02	75	100	0,75	1,5
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	85	100	0,85	3,4
10. Простота эксплуатации	0,04	98	100	0,98	3,92
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	96	100	0,96	4,8
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,06	100	100	1	6
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	90	100	0,9	3,6
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	70	100	0,7	2,8
3. Цена	0,1	65	100	0,65	6,5
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	95	100	0,95	6,65
5. Послепродажное обслуживание	0,03	90	100	0,9	2,7
6. Финансирование научной разработки	0,05	78	100	0,78	3,9
7. Срок выхода на рынок	0,03	71	100	0,71	2,13
8. Наличие сертификации разработки	0,04	80	100	0,8	3,2
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>91,41</b>

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD вычисляются по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i = 0,07 \cdot 95 + 0,12 \cdot 87 + \dots + 0,04 \cdot 80 = 91,41,$$

где:  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Значение  $P_{cp}$  позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя  $P_{cp}$  получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

По результатам оценки качества и перспективности делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направлениях ее дальнейшего улучшения.

Технология может использоваться при проведении различных маркетинговых исследований, существенно образом снижая их трудоемкость и повышая точность и достоверность результатов.

По итогам QuaD-анализа разработку можно признать эффективной, так как значение  $P_{cp}$  составило 91,41.

### **7.1.2 SWOT- анализ**

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые

проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим трактовку каждому из этих понятий.

1. Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Эти стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей. При этом важно рассматривать сильные стороны и с точки зрения руководства проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован. При этом рекомендуется задавать следующие вопросы:

–Какие технические преимущества имеете по сравнению с конкурентами?

–Что участники проекта умеют делать лучше всех?

–Насколько проект близок к завершению по сравнению с конкурентами?

2. Слабые стороны – это недостатки, упущения или ограниченности научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами. Чтобы прояснить в каких аспектах вас, возможно, превосходят конкуренты, следует спросить:

–Что можно улучшить?

–Что делается плохо?

–Чего следует избегать?

3. Возможности – включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет

руководству улучшить свою конкурентную позицию. Формулирование возможностей проекта можно упростить, ответив на следующие вопросы:

–Какие возможности вы видите на рынке? Проводите поиск свободных ниш, но помните, что свободными они остаются недолго. Благоприятная возможность, увиденная сегодня, может перестать существовать уже через три месяца. Эти возможности могут возникать в силу действия следующих факторов:

- изменения в технологической сфере и на рынке – как мирового, так и регионального масштаба;
- изменения правительственной политики в отношении отрасли, где проводится научное исследование;
- изменения социальных стандартов, профиля населения, стиля жизни и тд.

–В чем состоят благоприятные рыночные возможности?

–Какие интересные тенденции отмечены?

4. Угроза - представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту. Для выявления угроз рекомендуется ответить на следующие вопросы:

–Какие вы видите тенденции, которые могут уничтожить ваш научно-исследовательский проект или сделать его результаты устаревшими?

–Что делают конкуренты?

–Какие препятствия стоят перед вашим проектом (например, изменения в законодательстве, снижение бюджетного финансирования проекта, и т.п.)?

–Изменяются ли требуемые спецификации или стандарты на результаты научного исследования?

–Угрожает ли изменение технологии положению проекта?

–Имеются ли у руководства проблемы с материально- техническим обеспечением?

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 7.2.

Описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз должно происходить на основе результатов анализа, проведенного в предыдущих разделах бакалаврской работы.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа.

Таблица 7.2 - Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и Энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Повышение производительности труда. С5. Квалифицированный персонал. С6. Высокий срок эксплуатации. С7. Надежность данной системы по сравнению с другими. С8. Высокое качество продукции. С9. Простота системы управления.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1.Отсутствие Сл3.Меньший диапазон регулирования электропривода
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Снижение стоимости на электроэнергию В4. Повышение стоимости конкурентных разработок В5.Развитие технологий в данной отрасли		

<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии и производства.</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p> <p>У4. Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос.</p> <p>У5. Появление новых конкурентных разработок.</p>		
---	--	--

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Полученная интерактивная матрицы проекта представлены в табл.7.3, табл.7.4.

*Таблица 7.3 - Интерактивная матрица проекта*

		Сильные стороны проекта								
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Возможности проекта	B1	0	+	0	0	+	0	+	+	+
	B2	+	+	+	+	-	+	+	+	+
	B3	+	-	+	+	-	+	+	0	+
	B4	+	-	-	0	+	+	+	+	+
	B5	+	0	+	+	+	+	+	+	+

Результаты анализа таблицы: B2B3B4C1C6C7C9 B1C2C5C7C8C9

Таблица 7.4 - Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Повышение производительности труда.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p> <p>...</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> <p>Сл2. Большой срок выхода на рынок</p> <p>Сл3. Высокая стоимость лицензионного программного обеспечения</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследований</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В5. Развитие технологий в данной отрасли</p>	<p>В2В3В4С1С6С7С9</p> <p>В1С2С5С7С8С9</p> <p>В4С1С5С6С7С8С9</p> <p>В5С1С3С4С5С6С7С8С9</p>	<p>В5Сл1Сл3</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p> <p>У4. Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос.</p> <p>У5. Появление новых конкурентных разработок.</p>	<p>У1С5</p> <p>У3С1С3С4С6</p> <p>У2С9</p> <p>У5С5</p>	<p>У1Сл1</p> <p>У2Сл3</p> <p>У3Сл1Сл2Сл3</p> <p>У4У5Сл1Сл3</p>

Таким образом, для более успешной реализации данного проекта необходимо принять следующие меры:

- упростить работу с оборудованием;
- грамотно спланировать рекламные кампании для более эффективного донесения до потенциальных потребителей преимуществ проекта;
- по возможности снизить расходы на изготовления продукта для уменьшения конечной стоимости.

## **7.2 Планирование научно-исследовательских работ**

### **7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проводим распределение исполнителей по видам работ (табл.7.5)

*Таблица 7.5 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей*

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и	5	Разработка структурной (принципиальной) схемы	Инженер

экспериментальные исследования		ЭП	
	6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер
	7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер
	8	Расчет предельных характеристик систем «преобразователь электродвигатель»	Инженер
	9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Инженер
	10	Оптимизация САР электропривода	Инженер
	11	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	13		Инженер
	14		Инженер
	15		Инженер

### 7.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{минi} + 2t_{маxi}}{5},$$

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

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

$t_{маxi}$  - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -

ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где  $T_{pi}$ - продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 7.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении выпускных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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

Для удобства построения длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{Ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где  $T_{Ki}$ - продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$ - продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где  $T_{\text{кал}}$  - количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  - количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  - количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сводим в таблицу (табл. 7.6).

Пример расчета (составление и утверждение технического задания):

$$t_{\text{ож}} = \frac{3t_{\text{min}} + 2t_{\text{max}}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел} - \text{дней}.$$

Таблица 7.6 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{\text{min}}$ , чел-дни		$t_{\text{max}}$ , чел-дни		$t_{\text{ож}}$ , чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	1		2		2		2		4	
Подбор и изучение материалов по теме		5		8		7		7		11
Описание объекта автоматизации (модернизации)		3		4		4		4		7
Календарное планирование работ по теме	3		5		4		4		7	
Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП		4		9		6		6		10
Расчет параметров двигателя и модели		4		6		5		5		8
Выбор способа регулирования скорости		2		4		8		8		12

Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»		2		4		3		3		5
Разработка математической модели системы АУ ЭП	3		6		5		5		8	
Оптимизация САР электропривода		4		8		6		6		10
Разработка программы имитационного моделирования		5		8		7		7		11
Оценка эффективности полученных результатов	2		3		3		3		5	
Технико-экономические расчеты		3		7		5		5		8
Вопросы безопасности и экологичности проекта		3		7		5		5		8
Составление пояснительной записки		1		3		2		2		4

На основе данной таблицы строим календарный план-график (табл.7.7). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно- исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяем различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 7.7 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ Работ	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				фев.		март			апрель			май		июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	11												
3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер	7												
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	7												



## 7.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты исследования;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные и накладные расходы.

Все необходимое оборудование и материалы имеются в лаборатории, поэтому расчет материальных затрат проводить не будем.

### Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, 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. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 7.8.

Таблица 7.8 - Расчет основной заработной платы

№п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Зарплата, приходящая на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	2351	9404
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	11	1523	16753

3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер	7	1523	10661
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	7	2351	16457
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер	10	1523	15230
6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер	8	1523	12184
7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер	12	1523	18276
8	Расчет предельных характ. Системы «преобр.– электродвиг.»	Инженер	5	1523	7615
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Руководитель	3	2351	7053
10	Оптимизация САР электропривода	Инженер	10	1523	15230
11	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер	11	1523	16753
12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	2	2351	4702
13	Технико-экономические расчеты	Инженер	8	1523	12184
14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер	8	1523	12184
15	Составление пояснительной записки	Инженер	4	1523	6092
Итого:					180778

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{\text{доп}}$ - дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{\text{осн}}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя) рассчитывается по следующей формуле:

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

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

$T_p$ - продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн. (табл. 7.9);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{53594 \cdot 10,4}{237} = 2351 \text{ руб.},$$

где  $Z_m$ - месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$ - количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$ - действительный годовой фонд рабочего времени научнотехнического персонала, раб. дн. (табл.7.9).

Таблица 7.9 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	14	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	237	237

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_p = 27484 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 53594 \text{ руб.}$$

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

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

$k_{д}$ - коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5  
(в НИИ и напромышленных предприятиях – 3 % от  $Z_{тс}$ );

$k_{р}$ - районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата  $Z_{тс}$  находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда  $T_{сi} = 600$  руб. на тарифный коэффициент  $k_{т}$  и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в табл.7.10.

Таблица 7.10 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_{р}$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	27484	0,3	0,2	1,3	53594	2351	16	37616
Инженер	17808	0,3	0,2	1,3	34725	1523	95	144685
Итого $Z_{осн}$								182301

### Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 37616 = 4514 \text{руб.},$$

где  $k_{доп}$ - коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

### 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:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,302 \cdot (37616 + 4514) = 12723,$$

где  $k_{\text{внеб}}$  - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представляем в табличной форме (табл.7.11).

Таблица 7.11 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	37616	4514
Студент-дипломник	144685	17362
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302	
<b>Итого</b>		
Руководитель	12723	
Инженер	43914	

### Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot 0,16 \\ &= (182301 + 21876 + 55331) = 41521, \end{aligned}$$

где  $k_{\text{нр}}$  - коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

### **Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта**

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл.7.12.

*Таблица 7.12 - Расчет бюджета затрат НИИ*

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	182301	Пункт
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	21876	Пункт
3. Отчисления во внебюджетные фонды	55631	Пункт
4. Накладные расходы	41521	16 % от суммы ст.
5. Бюджет затрат НИИ	301329	Сумма ст.

### **7.3 Определение ресурсоэффективности проекта**

Финансовую эффективность проекта можно оценить при помощи интегрального финансового показателя:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

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

$\Phi_{pi}$  - стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  - максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Расчёт интегрального финансового показателя проводим в виде

табличной формы на табл.7.13.

Таблица 7.13 - Расчёт интегрального финансового показателя конкурентных технических решений

Вариант схемы	$\Phi_{\max}$ , руб.	$\Phi_{pi}$ , руб.	$I_{фин}^{исп.i}$ , о.е.
1	43115,6	43115,6	1
2		32850	0,76
3		30600	0,709

Величина интегрального финансового показателя разработки схемы 3 отражает соответствующее численное удешевление стоимости электропривода при одинаковой мощности. Схема 3 имеет наименьший интегральный показатель среди трёх конкурентных технических решений, и, следовательно, вариант схемы является наиболее финансово эффективным, что является определяющим критерием.

Определение ресурсоэффективности проекта схемы 3 можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности (табл.7.14):

Таблица 7.14 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Объект исследования	Весовой коэффициент	Система ПЧ - АД	Нерегулируемый электропривод	Система ТРН - АД
1. Безопасность	0,25	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации	0,10	5	5	5
3. Помехоустойчивость	0,10	4	4	4
4. Энергосбережение	0,15	4	4	5
5. Надёжность	0,25	5	5	4
6. Материалоёмкость	0,15	4	4	5
<b>Итого:</b>	1,00	4,5	4,5	4,6

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности выбранной системы:

$$I_p = 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,6.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта по разработке системы ТРН – АД.

## Вывод по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В процессе планирования проект был разделён на 15 этапов, которые распределены между руководителем и инженером. По полученным данным построили календарный план проведения проекта, выполненный на основе диаграммы Ганта.

Основной из главных частей анализа является формирование бюджета НТП, в котором отражаются расходы на проектирование, в частности затраты по основной заработной плате исполнителей темы – 182301 руб. и дополнительной – 21876 руб., отчисления во внебюджетные фонды – 12723 руб., накладные расходы – 41521 руб., полный бюджет – 301329 руб.

В завершении работы была доказана ресурсоэффективность технического проекта. Интегральный показатель ресурсоэффективности равен 4,6. Это говорит о соответствии проекта современным требованиям в области электротехники.

На основании вышесказанного можно утверждать о большой практической значимости проекта и востребованности его. Принятые решения позволяют объекту исследования успешно конкурировать на рынке при малых денежных и временных затратах на его разработку.

## Заключение

В выпускной работе был рассмотрен электропривод вентилятор по системе ТРН-АД.

Определены параметры схемы замещения для двигателя, рассчитаны и построены электромеханическая характеристика, а также механическая характеристика при работе на холостом ходу и при работе на вентиляторную нагрузку. На основании полученных графиков сделан вывод, что привод полностью обеспечивает заданную область работы.

Определено, что статические характеристики замкнутого асинхронного электропривода по схеме ТРН – АД имеют нелинейный характер и обладают большей жесткостью на рабочем участке по сравнению с аналогичными характеристиками разомкнутого электропривода. Показано, что построить замкнутую систему асинхронного электропривода по схеме ТРН – АД возможно с применением наблюдателя скорости.

В дальнейшем были рассчитаны все необходимые параметры для структурной схемы, построенной в среде Matlab Simulink 2019a. Проводилось сравнение двух схем: для холостого и для плавного пуска. На основании полученных данных переходных процессов можно сделать вывод, что устройство плавного пуска, на основе тиристорного регулятора напряжения помогает избежать всех неблагоприятных воздействий на структуру, возникающих при пуске холостого хода. Все проведенные исследования значительно повышают показатели качества работы в том числе и энергетические системы тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель.

Для механизмов, требования технической эксплуатации которых предусматривают «мягкий» пуск, применять устройства плавного пуска экономически целесообразно по сравнению с частотными преобразователями той же мощности.

В разделе социальной ответственности дан анализ выявленных вредных и опасных факторов. Рассмотрено влияние объекта на экологию. Выявление чрезвычайные ситуации и приняты меры по их устранению. Изложены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

В разделе финансового менеджмента построен календарный план проведения проекта. Был сформирован бюджет научно-технического проекта с расходами: на основную и дополнительную заработную плату исполнителей, отчисления во внебюджетные фонды, накладные расходы. На основании экономических проработок можно утверждать о большой практической значимости проекта и востребованности его.

## Список литературы

1. О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин. Системы управления электроприводов: учебное пособие – Изд-во ТПУ, 2007. – с151.
2. Г.Б. Онущенко, М.Г.Юньков. Электропривод турбомеханизмов – Изд-во Москва, 1972. – с240.
3. Л.П. Петров, О.А. Андриющенко, В.И. Капинос. Тиристорные преобразователи напряжения – Изд-во Энергоатомиздат, 1986. – с200.
4. М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер, В. И. Ключев. Теория автоматизированного электропривода: учебное пособие – Москва: Энергия, 1979. — с615.
5. Ю.Н. Дементьев, С.М. Семенов, Ю.С. Боровиков. Теория электропривода: лабораторный практикум – Изд-во ТПУ, 2005. – с143.
6. В.А. Шубенко, И.Я. Браславский. Тиристорный асинхронный электропривод с фазовым управлением – Изд-во Энергия, 1972. – с200.
7. Буров В.Н., Фролов В.Я. Силовая электроника. Полупроводниковые преобразователи для управления асинхронными двигателями и их энергетические показатели. – СПб.: Изд-во ТПУ. Ун-та, 2014. – с104 с.
8. Федеральная служба по утилизации компьютеров и оргтехники [Электронный ресурс]. URL: <http://rusutilit.ru>. (Дата обращения: 11.12.2019г).
9. Прайс-лист приводов АBB URL: [www.privod.szemo.ru](http://www.privod.szemo.ru) (дата обращения: 24.04.2020).
10. Прайс-лист приводов Siemens ООО «Спектрейдимпорт» URL: [www.mechprivod.ru](http://www.mechprivod.ru) (дата обращения: 24.04.2020).
11. Прайс-лист приводов Emotron URL: [www.emotron.com](http://www.emotron.com) (дата

обращения: 24.04.2020).

12. Прайс-лист приводов ООО «Звезда-Электроника» URL: [www.zvezda-el.ru](http://www.zvezda-el.ru) (дата обращения: 24.04.2020).
13. Каталог «Электрооборудование для электродвигателей: управление и защита» URL: [emotronpiter.ru/uploads/katalogy/katalog\\_emotron\\_ada\\_engineering\\_%20812\\_9811013.pdf](http://emotronpiter.ru/uploads/katalogy/katalog_emotron_ada_engineering_%20812_9811013.pdf) (дата обращения: 10.05.2020).
14. Каталог асинхронных двигателей [Электронный курс]: Режим доступа [https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KOJAIN/Student/Tab2/induction\\_motors\\_AI.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KOJAIN/Student/Tab2/induction_motors_AI.pdf), свободный.
15. Каталог электронных компонентов [Электронный курс]: Режим доступа <http://chiplist.ru/thyristors/T131-50/>, свободный.
16. Каталог кабеля и провода [Электронный курс]: Режим доступа <https://www.etm.ru/catalog/?searchValue=%D0%9F%D0%923+1%D1%856>, свободный.
17. А.А. Сивков, А.С. Сайгаш, Д.Ю. Герасимов. Основы электроснабжения учебное пособие – Изд-во ТПУ, 2014. – с184.
18. Каталог вентиляторных установок [Электронный курс]: Режим доступа <https://prom-electric.ru/media/shkaf-sistemi-avtomaticheskogo-upravleniya-ventilyatornih-ustanovok-shsau.pdf>, свободный.
19. Нестеров К.Е. Разработка и исследование системы «Тиристорный преобразователь напряжения – асинхронный двигатель» с вычислителем скорости ротора по ЭДС статора// дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург. – 2009. – 140 с.
20. Браславский И.Я. Асинхронный полупроводниковый электропривод с фазным ротором. – М.: Энергоатомиздат. – 1988. – 224 с
21. Козлова Л.Е., Боловин Е.В. Исследование статики и динамики замкнутого бездатчикового асинхронного электропривода собственных нужд ТЭС по схеме ТРН – АД с нейросетевым наблюдателем угловой скорости 127 [электронный ресурс] //

- Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №. 3. – С. 1-6. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/117-13581> (дата обращения: 10.05.2020).
22. Ключев В.И. Теория электропривода. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. – 1998. – 704 с.
  23. ГОСТ 12.0.003–2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
  24. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. Обучение работающих безопасности труда.
  25. ГОСТ 12.1.004-91, ССБТ « Пожарная безопасность. Общие требования »
  26. СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
  27. СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 1997.
  28. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
  29. И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно – методического пособия – Изд-во ТПУ, 2014. – с36.
  30. В 4-х т. Т.4/Под общ.ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. Электротехнический справочник- М.: Изд-во МЭИ, 2002.