

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

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетики и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Электропривод вентиляционной установки стояночного бокса

УДК 62-83:697.921.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM87	Чирков Антон Олегович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев И.А.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Фех Алина Ильдаровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП ИШЭ	Гарганеев Александр Георгиевич	профессор д.т.н.		

Томск – 2020

Планируемые результаты обучения по ООП

Код	Результат обучения*	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки		
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1,6; ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4,5; ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2,3; ОПК-1; ПК-1, 2, 3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Иметь представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии отрасли, навыки проведения работ с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1,6; ОПК-1, 4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.	Требования ФГОС ВО (УК-5, ОПК-4; ПК-4-6), Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
По профилям подготовки		
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.	Требования ФГОС ВО (ПК-1, 7,8), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.003, «Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций»)

P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.	Требования ФГОС ВО (ПК-2, 9, 10, 11), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.	Требования ФГОС (ПК-3, 13, 14, 15, 24-26), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.003, «Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций»)
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 16-21, 24, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.	Требования ФГОС (ПК-22, 23, 25, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.	Требования ФГОС (ПК-27, 28), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.003, «Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций»)
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.	Требования ФГОС (ПК-29, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетики и электротехника
Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Гарганеев А.Г.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5AM87	Чиркову Антону Олеговичу

Тема работы:

Электропривод вентиляционной установки стояночного бокса	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	27.02.2020 № 58-29/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Электропривод вентиляционной установки стояночного бокса. Материалы производственной практики, техническая литература, техническая документация.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>Титульный лист Задание Реферат Введение Раздел 1 Технологический процесс. Общие сведения о вентиляционной установке Раздел 2 Выбор электрооборудования регулируемого электропривода Раздел 3 Расчёт параметров схемы замещения двигателя Раздел 4 Математическое описание обобщённой асинхронной машины Раздел 5 Обоснование и выбор структурной схемы силового канала электропривода Раздел 6 Регулирование в автоматическом режиме частоты вращения Раздел 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Раздел 8 Социальная ответственность Заключение Список литературы</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>- функциональная схема электропривода; -имитационная модель; -графики переходных процессов электропривода</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Основное исследование</p>	<p>Чернышев И.А.</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Спицына Л.Ю.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Фех А.И.</p>
<p>Иностранный язык</p>	<p>Качалов Н.А.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</p>	
<p>Раздел 1 Общие сведения об изделии. Назначение и принцип действия электропривода вентиляционной установки стояночного бокса</p>	
<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>19.11.2018 г.</p>

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев И.А.	к.т.н		19.11.2018 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM87	Чирков А.О.		19.11.2018 г.

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетики и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники
 Период выполнения осенний/ весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.03.2020	Календарное планирование работ по теме	3
12.03.2020	Описание объекта исследования	3
20.03.2020	Подбор и изучение материалов по теме	3
22.03.2020	Составление и утверждение технического задания	3
28.03.2020	Расчет энергетических параметров	3
11.04.2020	Исследование работоспособности электропривода	6
15.04.2020	Анализ полученных данных	3
25.04.2020	Контроль качества выполнения проекта и консультирование студента	3
02.05.2020	Оценка эффективности проделанной работы	3
10.05.2020	Технико-экономические расчеты	3
12.05.2020	Вопросы экологической безопасности	3
15.05.2020	Составление пояснительной записки	4
22.05.2020	Итог	40

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев И.А.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП ИШЭ	Гарганеев А.Г.	профессор д.т.н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5AM87	Чиркову Антону Олеговичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	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>	<i>Бюджет проекта – не более 5 млн.руб. Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 2 баллов Оклад руководителя - 20800 руб. Оклад инженера - 17000руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 30% районный коэффициент</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>27,1% отчисления на социальные нужды</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ</i>	<i>Анализ конкурентных технических решений</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Структура научно-технического проекта</i>
3. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: -заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели.</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Определение эффективности исследования, SWOT-анализ</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей):</i>	
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Сегментирование рынка</i> 2. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> 3. <i>Диаграмма FAST</i> 4. <i>Диаграмма Исикава</i> 5. <i>Матрица SWOT</i> 6. <i>График проведения и бюджет НИИ</i> 7. <i>Иерархическая структура работ проекта</i> 8. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ</i> 9. <i>Проектная структура проекта</i> 	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	19.02.2020

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM87	Чирков Антон Олегович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5AM87	Чиркову Антону Олеговичу

Школа	Инженерная школа энергетика	Отделение школы (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Магистратура	Направление	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Электропривод вентиляционной установки стояночного бокса	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Асинхронный электропривод вентиляционной установки стояночного бокса. Используется в промышленности, сфере автомобилестроения, жилищной сфере, автомойки.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) - ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»; - ГОСТ 12.2.033-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования»; - ГОСТ 12.2.061-81 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам»
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды. 2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	- Отклонение показателей микроклимата; - Превышение уровня шума; - Отсутствие или недостаток естественного света; - Недостаточная освещенность рабочей зоны - Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
3. Экологическая безопасность	- газообразные отходы - жидкие и твердые отходы - сбросы и выбросы в окружающую среду

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<i>Наиболее вероятные ЧС: возникновение пожара и электропоражение</i>
--	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	12.02.2020г
---	-------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дис- циплин	Фех Алина Ильда- ровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM87	Чирков Антон Олегович		

Реферат

Данный магистерская диссертация содержит 150 страниц, 38 таблиц, 65 рисунка и 19 используемых источников.

Ключевые слова диссертации: ВЕНТИЛЯЦИОННАЯ УСТАНОВКА, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ, ОВЕН ПЛК - 73, АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ, ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ, ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС.

Объектом проектирования является электропривод вентиляционной установки стояночного бокса.

Цель работы - разработка частотно - регулируемого электропривода и исследование его работы методом моделирования в программе Simulink пакета MATLAB.

Магистерская диссертация выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word. Расчёты производились с помощью пакета программы MathCAD. Имитационное моделирование электропривода выполнено с помощью пакета программ Simulink MATLAB.

В результате выполнения диссертации была осуществлена разработка электропривода переменного тока с автоматическим управлением, соответствующая условиям технического задания.

Достигнутые технико-эксплуатационные показатели: высокие показатели переходных процессов (перерегулирование, быстродействие).

Оглавление

Реферат	2
Техническое задание	6
Введение	7
1. Технологический процесс	9
1.1. Описание вентиляционной установки стоячного бокса	9
1.2. Электрооборудование стоячного бокса	11
1.3. Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК 73	14
2. Выбор электрооборудования	18
2.1. Общие вопросы проектирования	18
2.2. Выбор двигателя	21
2.3. Выбор преобразователя частоты	22
3. Расчет параметров схемы замещения двигателя	26
3.1. Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик электродвигателя	30
4. Математическое описание обобщенной асинхронной машины	33
5. Обоснование и выбор структурной схемы силового канала электропривода	39
5.1. Статические характеристики вентилятора при регулировании скорости по закону регулирования с IR- компенсацией	41
5.2. Расчет потерь в асинхронном двигателе при работе, на	45
искусственных характеристиках с вентиляторной нагрузкой	45
5.3. Расчет динамических характеристик асинхронного двигателя	47
5.4. Расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска при вентиляторной нагрузке на валу двигателя системы «Преобразователь частоты – Асинхронный двигатель»	52

6. Регулирование в автоматическом режиме частоты вращения	65
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	73
7.1. Предпроектный анализ	73
7.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	73
7.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	74
7.1.3. FAST-анализ	76
7.1.4. Диаграмма Исикава	81
7.1.5. SWOT-анализ	82
7.1.6. Оценка готовности проекта к коммерциализации	86
7.1.7. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	88
7.2. Инициация проекта.....	89
7.3. Планирование управления научно-техническим проектом	92
7.3.1. Иерархическая структура работ проекта.....	93
7.3.2. Контрольные события проекта.....	93
7.3.3. План проекта	94
7.3.4. Бюджет научного исследования.....	96
7.3.5. Организационная структура проекта.....	103
7.3.6. Матрица ответственности	103
7.3.7. Реестр рисков проекта	104
7.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	105
7.4.1. Оценка сравнительной эффективности исследования.....	106
Вывод по разделу	110

8. Социальная ответственность	111
8.1. Введение.....	111
8.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	112
8.3. Производственная безопасность	115
8.4. Анализ опасных и вредных факторов труда	115
8.4.1. Микроклимат.....	115
8.4.2. Шум и вибрации.....	118
8.4.3. Отсутствие или недостаток естественного света, недостаточная освещенность рабочей зоны	120
8.4.4. Электробезопасность.....	126
8.5. Экологическая безопасность.....	129
8.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	130
Выводы по разделу	133
Заключение	134
Список литературы	135
Приложение А	137

Техническое задание

- Тип системы вентиляции: приточно-вытяжная с естественным и механическим побуждением;
- Насос циркуляционный 1, мощностью $P = 180$ Вт;
- Насос вихревой реверсивный, мощностью $P = 300$ Вт;
- Клапан регулируемый муфтового типа с электроприводом;
- Насос циркуляционный 2, мощностью $P = 430$ Вт;
- Автоматический комбинированный балансировочный клапан с фланцевым соединением, который соединён с электроприводом;
- Регулируемый шаровой клапан Velimo D32 с электроприводом поворотным LR 24-SR;
- Клапан утепленный воздухозаборный с исполнительным механизмом Gruner 228-230-05 мощностью $P = 6$ Вт и мощностью тэн $P = 2000$ Вт;
- Капиллярный термостат угрозы замораживания TFR 3;
- Датчик перепада давления для контроля запыления фильтра;
- Датчик перепада давления для работы вентилятора PS 500;

Введение

Данная магистерская диссертация посвящена разработке и проектированию частотно-регулируемого асинхронного электропривода вентиляционной установки стояночного бокса.

Под *вентиляцией* понимают процесс удаления отработанного воздуха из помещения и замена его наружным. В необходимых случаях при этом проводятся следующие процессы: кондиционирование воздуха, фильтрация, подогрев или охлаждение, увлажнение или осушение, ионизация и так далее. Вентиляция обеспечивает санитарно-гигиенические условия (температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и чистоту воздуха) воздушной среды в помещении, благоприятные для здоровья и самочувствия человека, отвечающие требованиям санитарных норм, технологических процессов, строительных конструкций зданий, технологий хранения и т. д.

Приточной системой вентиляции называется система, подающая в помещение определенное количество воздуха, которое может подогреваться в зимний период и охлаждаться в летний.

При работе автомобилей выделяется большое количество вредных веществ, которые негативно отражаются на здоровье рабочего персонала. Поэтому проект разработан на основании технического задания, архитектурно-строительных чертежей и действующих нормативных документов.

В данной приточной вентиляции установлен асинхронный электропривод, который имеет большие пусковые токи, что пагубно влияет на срок службы. Наилучшим решением в этой ситуации является внедрение современного технологического оборудования, позволяющего максимально использовать возможности систем управления и тем самым добиться качественно нового уровня технологии.

В настоящее время во всем мире широко используется частотный способ управления асинхронной машиной, который сегодня рассматривается не только с точки зрения экономии потребляемой электроэнергии, но и с точки зрения совершенствования управления технологическим процессом.

В промышленно развитых странах техника применения частотно-регулируемых приводов используется более 30 лет. В течение этого времени закладывались научные и методические основы, разрабатывались и совершенствовались технические средства управления электроприводом, совершенствовались технологические процессы и оборудование, корректировались учебные курсы для подготовки специалистов. Накоплен достаточно большой опыт в принятии технических решений при создании систем, использующих этот тип приводов, ряд решений стандартизирован.

В нашей стране сложилась несколько иная ситуация. Разработка полномасштабных интегрированных АСУ ТП взамен устаревших систем еще весьма незначительна. Несмотря на это, все же имеется опыт применения частотно-регулируемых приводов для модернизации вентиляционных установок.

Модернизация вентиляторов путем применения частотного регулирования является задачей нижнего уровня АСУ ТП. При этом эффективно решаются вопросы энергосбережения, улучшения качества технологического процесса, срока службы агрегатов системы, а также ряд других вопросов, повышающих уровень совершенности системы в целом.

1. Технологический процесс

1.1. Описание вентиляционной установки стояночного бокса

Спроектированная вентиляция стояночного бокса является приточно-вытяжной с естественным и механическим побуждением и имеет устройство местных отсосов от выезжающего транспорта.

В проекте используется приточная автоматизированная камера П1 в комплекте с автоматикой и узлом защиты калориферов от замораживания.



Рис. 1 – Вид стояночного бокса

Общеобменная вентиляция с механическим побуждением рассчитана на ассимиляцию вредностей (оксиды углерода и оксиды азота) до нормируемых пределов.

На приточном воздуховоде, на выходе из вентилятора в помещение тепловой стоянки предусмотрен противопожарный нормально открытый клапан с электроприводом «Gruner».

Удаление воздуха производится системами механической вентиляции: 50% - крышными вентиляторами из верхней зоны и 50% - канальными вентиляторами из нижней зоны. Предусмотрена однократная вытяжка из верхней зоны согласно СНиП 41-01-2003 п.7.5.9. через дефлектор.

В стояночном боксе запроектированы системы удаления выхлопных газов от автотранспорта с помощью вытяжных катушек MER-75-12.5/SP (рис.2), оборудованные электроприводами с пультами и вытяжными шлангами. Вытяжные катушки объединены в системы, оборудованные высокооборотными радиальными вентиляторами FUK, поставляемые фирмой «СовПлим».



Рис. 2 - Вытяжные катушки для улавливания выхлопных газов

Основными вредностями в помещении автомойки являются окислы углерода и окислы азота при въезде и выезде автотранспорта, влаговыделения при мытье автотранспорта аппаратом высокого давления «Karcher».

Для предотвращения поступления холодного воздуха при въезде и выезде автотранспорта ворота в помещении мойки оборудованы автоматическими воздушно-тепловыми завесами в соответствии с требованиями ВСН 01-89 п.4.6.

Приток запроектирован механический рассредоточенный в рабочую зону и в смотровую яму с кратностью $n = 10$ системой П2 согласно ВСН 01-89 п.4.10.

В помещении ремонтного бокса запроектирован местный отсос от электровулканизатора – панель равномерного всасывания, обеспечивающая улавливание теплоизбытков и сернистых паров.

При пожаре предусмотрено централизованное отключение приточных и вытяжных систем путем прекращения подачи электропитания на распределительные щиты.

Используемые в диссертации технические устройства и материалы сертифицированы на соответствие требованиям безопасности и имеют разрешение Ростехнадзора на применение.

1.2. Электрооборудование стояночного бокса

В состав электрооборудования входят следующие основные узлы:

1. *Узел управления теплоснабжением.* Он состоит из насоса циркуляционного, мощностью 180 Вт, насоса вихревого реверсивного типа мощностью 300 Вт и клапана регулируемого муфтового с электроприводом (рис.3).



Рис. 3 - Клапан регулируемый седельный трехходовой

2. *Узел теплоснабжения приточных установок.* Этот узел состоит из следующих основных устройств: насос циркуляционный мощностью 430 Вт, автоматический комбинированный балансировочный клапан с фланцевым соединением присоединением с электроприводом, регулируемый шаровой клапан с электроприводом поворотным (рис.4).



Рис. 4 - Автоматический комбинированный балансировочный клапан

3. *Тепловые завесы.* Состоят из пульта управления, выключателя концевого, термостатов, электропривода поворотного крана и шкаф распределительный - ШР - 1 (рис.5).



Рис. 5 – Тепловая воздушная завеса «Универсал ПРО»

4. *Приточные установки.* Имеют расход воздуха 6690 м³/ч или 9955 м³/ч и напор 300 Па и включает: щит управления с процессором МЗТА МС8, клапан утепленный воздухозаборный с исполнительным механизмом Gruner 228-230-05 мощностью 0,006 кВт и мощностью тэнов 2 кВт, регулируемый шаровой клапан Velimo D32 с электроприводом поворотным LR 24-SR, вентилятор радиальный с ременным приводом, с электроприводом 3 кВт и 5

кВт (рис.6), капиллярный термостат угрозы замораживания TFR 3, датчик перепада давления для контроля запыления фильтра, датчик перепада давления для работы вентилятора PS 500 (рис.7).



Рис. 6 - Приточная блочная установка



Рис. 7 - Вентилятор радиальный с ременным приводом

1.3. Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК 73

Программируемый логический контроллер – предназначен для систем автоматизации в щитовом исполнении. Основные области применения – ЖКХ, ЦТП, ИТП, котельные, небольшие установки (рис. 8).

К основным функциональным возможностям можно отнести:

- Четырехстрочный знакосинтезирующий дисплей;
- Наличие дискретных входов/выходов;
- Заказные модификации с выбором дискретных/аналоговых выходов;
- Платы расширения интерфейсов RS-485, RS-232;
- Поддержка протоколов ОВЕН, Modbus RTU, Modbus ASCII, GateWay;
- Возможность расширения путем подключения модулей ввода/вывода;
- Встроенные часы реального времени;
- Подключение преобразователя частоты;



Рис. 8 - Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК73
 Функциональная схема такого ПЛК приведена на рисунке 9.

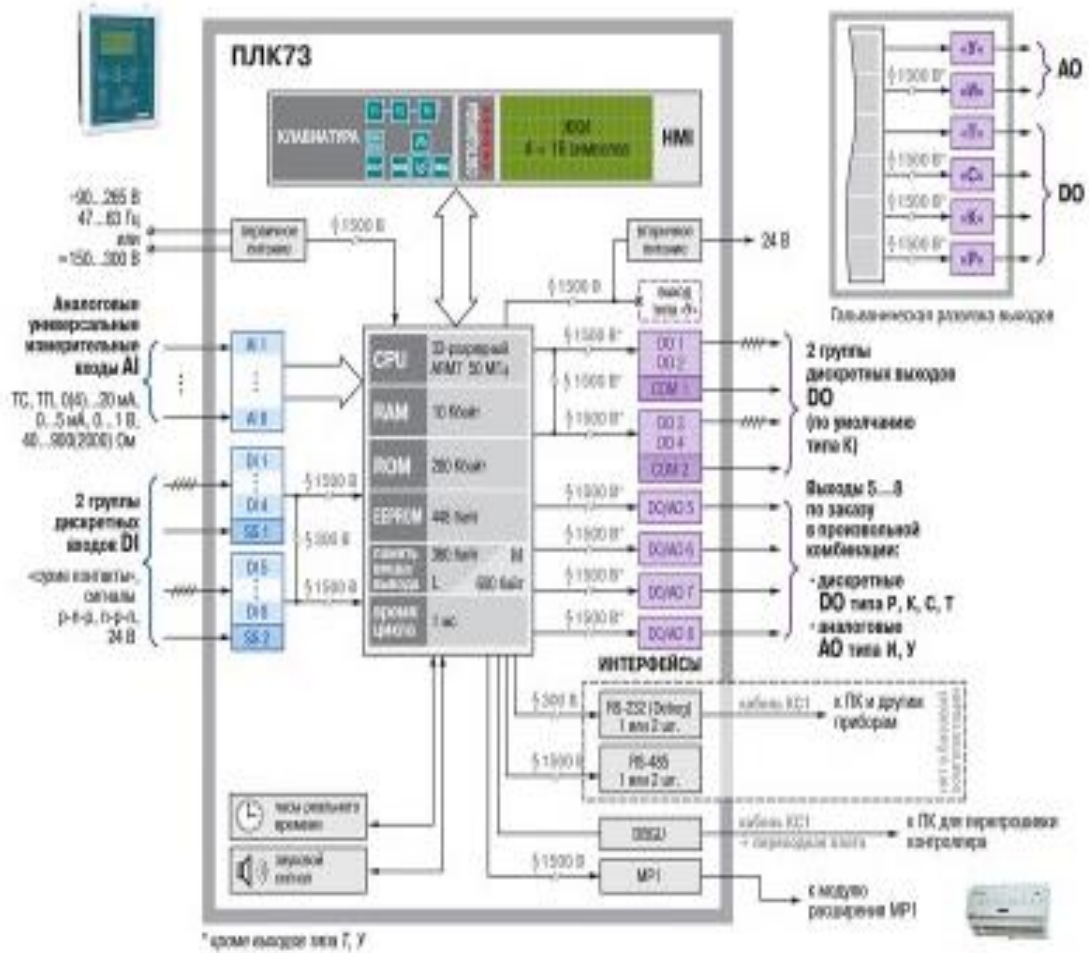


Рис. 9 - Функциональная схема ПЛК 73

Технические характеристики ПЛК сведены в таблицу 1:

Таблица 1 - Технические характеристики ПЛК 73

Центральный процессор	32-разрядный RISC процессор 50 МГц на базе ядра ARM7
Размер Retain-памяти (EEPROM)	448 байт
Объем оперативной памяти для хранения переменных программ	10 кб
Объем памяти хранения программ	280 кб
Объем памяти ввода-вывода	600 байт - для ПЛК73-М 360 байт - для ПЛК73-L
Время работы часов реального времени после пропадания питания	не менее 3 месяцев
Конструктивное исполнение	Корпус щитового крепления. Габаритные размеры (ВхШхГ), мм (168×137×55) ± 1 мм
Степень защиты корпуса со стороны лицевой панели	IP55
Напряжение питания	9..245 В (частотой от 47 до 63 Гц)
Потребляемая мощность, не более	для постоянного тока, 12 Вт для переменного тока, 18 Вт
Параметры встроенного вторичного источника питания	выходное напряжение 24 ± 3 В, ток не более 180 мА

Схемы работы ПЛК 73 с другими приборами представлена на рисунке

10.

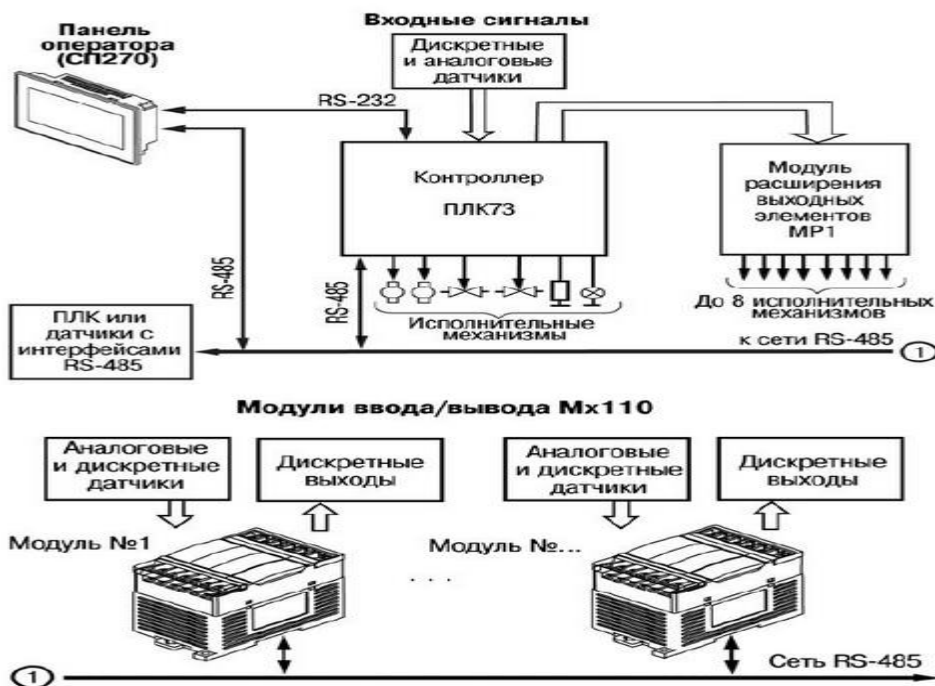


Рис. 10 – Схема работы ПЛК-73 с другими устройствами

Программируемый логический контроллер может отслеживать следующие параметры:

- 1) Температура притока воздуха;
- 2) Температура воздуха в комнате;
- 3) Температура улицы;
- 4) Температура воздуха в обратном направлении из калорифера;
- 5) Состояние жалюзи притока;
- 6) Состояние жалюзи вытяжки;
- 7) Состояние жалюзи рециркуляции;
- 8) Положение клапана отопления;
- 9) Положение клапана охлаждения;
- 10) Состояние мотора притока;
- 11) Состояние мотора вытяжки;
- 12) Состояние насоса циркуляции.

2. Выбор электрооборудования

2.1. Общие вопросы проектирования

Наиболее эффективные способы регулирования скорости короткозамкнутого асинхронного двигателя связаны с изменением скорости вращения электромагнитного поля статора

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{Z_p}.$$

Отсюда следует два основных способа регулирования скорости вращения электромагнитного поля:

- изменением числа пар полюсов z_p ;
- изменением частоты f_1 напряжения статора двигателя.

Способы частотного регулирования скорости электроприводов переменного тока с короткозамкнутыми асинхронными двигателями находят все большее применение в различных отраслях техники. Преобразование переменного напряжения питающей сети в переменное напряжение с регулируемой частотой, напряжением и током осуществляют преобразователи частоты. В настоящее время преобразователи частоты выполняются на базе силовых полупроводниковых ключей. Быстрый рост преобразователей частоты стал возможен с появлением биполярных транзисторов с изолированным затвором, рассчитанных на токи до нескольких тысяч ампер, напряжения до нескольких киловольт и частоту коммутации 20 кГц и выше.

По типу связи с питающей сетью преобразователи частоты на полупроводниковых элементах делятся на два больших класса:

- преобразователи частоты с непосредственной связью;
- преобразователи частоты со звеном постоянного тока.

Преобразователи частоты со звеном постоянного тока, в свою очередь, подразделяются на:

- автономные инверторы тока (АИТ);

- автономные инверторы напряжения (АИН).

В своей структуре автономные инверторы содержат выпрямитель, силовой фильтр и инвертор, преобразующий постоянное напряжение (ток) в переменное напряжение (ток) заданной частоты.

В последние годы нашли применение автономные инверторы с ключами на силовых транзисторах типа IGBT и MOSFET. Асинхронный электропривод с автономным инвертором напряжения, выполненным на IGBT-транзисторах, приведен на рисунке 11.

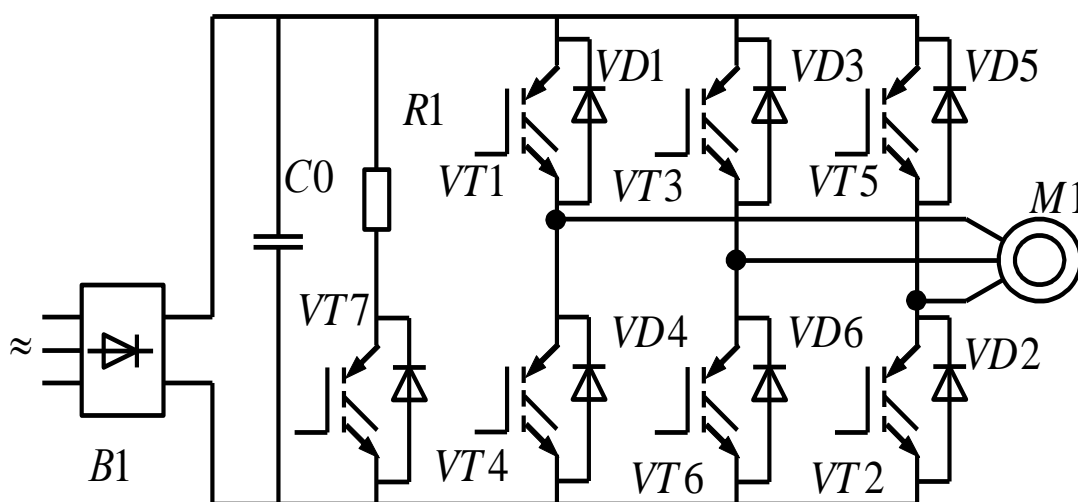


Рис. 11 - Асинхронный электропривод с автономным инвертором напряжения, выполненным на IGBT-транзисторах

Индуктивный характер нагрузки учитывается подключением параллельно транзисторным ключам VT1...VT6 диодов VD1...VD6, обеспечивающих непрерывность цепи протекания тока в обмотках статора при отключении их от источника питания и возврат запасенной электромагнитной энергии в конденсатор C0 фильтра.

Так как IGBT-транзисторы могут переключаться при значительно больших частотах, чем тиристорные ключи, то и форма тока, протекающего через обмотки двигателя становится значительно ближе к синусоидальной. Очевидно, что чем выше несущая частота ШИМ, тем меньше амплитуда колебаний тока в обмотках статора двигателя. На рисунке 12 приведены

осциллограммы токов статора асинхронного двигателя при низкой и высокой несущей частоте опорного напряжения ШИМ модулятора.

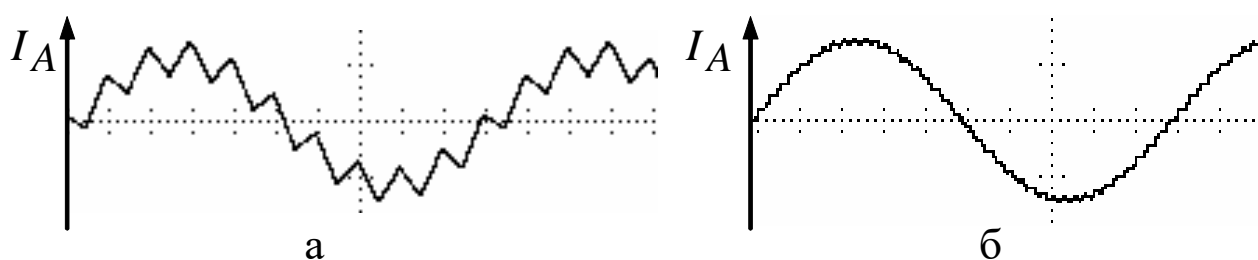


Рис. 12 - Осциллограммы токов статора асинхронного двигателя при низкой (а) и высокой (б) несущей частоте опорного напряжения ШИМ модулятора.

Однако чрезмерное увеличение несущей частоты может привести к перегреву двигателя и ключей инвертора. Чем выше частота коммутации ключей, тем выше потери энергии в них.

В электроприводах, имеющих в цикле работы участки рекуперации энергии, запасенной во вращающихся частях электропривода, или высокую интенсивность тормозных режимов для эффективного торможения приходится предусматривать специальный узел сброса энергии, состоящий из дополнительного ключа $VT7$ и резистора $R1$. Ключ $VT7$ открывается при превышении напряжения на емкости $C0$ сверхдопустимого значения, вследствие чего обеспечивается «сброс» энергии в резистор $R1$, рассеивающий эту энергию.

В структурах электроприводов с автономными инверторами напряжения, охваченными отрицательной обратной связью по току, инвертор приобретает свойства источника тока.

В электроприводах с автономными инверторами напряжения возможен режим векторного управления, что позволяет использовать их для процессов с повышенными требованиями к динамике и пусковому моменту. Кроме того, эти преобразователи совместно с асинхронными двигателями во

многих случаях позволяют заменить более дорогой электропривод постоянного тока.

Применение автономных инверторов напряжения с индивидуальной коммутацией ключей позволяет регулировать выходное напряжение с помощью автономного инвертора, при постоянном неизменном напряжении на его входе. Если при этом частота переключения ключей существенно выше выходной частоты инвертора, то в спектре выходного напряжения кроме основной гармоники присутствуют лишь гармоники весьма высокого порядка, которые легко отфильтровываются индуктивностями двигателя.

Преимущества инверторов напряжения заключаются:

1. В более жесткой выходной вольт-амперной характеристики.
2. В возможности достижения больших пределов регулирования частоты
3. Способность работать как с одним, так и с несколькими двигателями

Недостатки:

1. Большая емкость электролитического конденсатора C_0 фильтра мощности инверторов напряжения сравнительно небольшие 3-1500 кВА
2. Трудности обеспечения рекуперации электрической энергии в сеть в тормозных режимах.

2.2. Выбор двигателя

Расчетная мощность двигателя с запасом вычисляется по формуле:

$$P = \frac{L \cdot p}{1000 \cdot \eta} \cdot k_3,$$

где L – подача воздуха, $L = 9955 \text{ м}^3/\text{с}$ (см. таблицу 1);

p – давление на выходе, $p = 300 \text{ Па}$ (см. таблицу 1);

P – мощность, кВт;

η – КПД вентилятора, $\eta = 0,65$;

k_3 – коэффициент запаса мощности, учитывающий не выявленные расчетом факторы, $k_3 = 1,05..1,1$ (принимаем $k_3 = 1,1$)

$$P = \frac{L * p}{1000 * \eta} = \frac{9955 * 300}{1000 * 0.65} * 1.1 = 5,054 \text{ кВт.}$$

Асинхронный электродвигатель выбирается по мощности и наиболее подходящим габаритным размерам. Выбираем асинхронный электродвигатель АИР112М4, паспортные данные которого представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Паспортные данные асинхронного двигателя типа АИР112М4.

Тип двигателя	Синх. частота вращения, об/мин	Момент инерции, кг·м ²	Мощность, кВт	При номинальной нагрузке				$\frac{M_{\Pi}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{\max}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{\min}}{M_{НОМ}}$	$\frac{I_{\Pi}}{I_{НОМ}}$
				s	I, А	η , %	cos φ				
АИР112М4	1500	0,0236	5,5	0,017	1,1	95,5	0,86	2,2	2,6	1,6	6

2.3. Выбор преобразователя частоты

Преобразователь частоты выбирается из условий:

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

Для двигателя мощностью $P_{\text{дв}} = 5,5$ кВт и номинальным током $I_{\text{дв}} = 10,147$ А. выбираем преобразователь частоты серии VLT 2855 фирмы Danfoss, имеющий следующие параметры:

- выходной ток $I_{\text{вых}} = 12$ А;
- максимальный ток (60 с) $I_{\text{макс}} = 19,2$ А;
- полная выходная мощность $S_{\text{вых}} = 8,3$ кВА.;
- активная номинальная мощность $P_{\text{вых}} = 6,9$ кВт;
- выходная частота $f_1 = 0,2 - 132$ Гц.;
- разрешение по частоте $0,013$ Гц;

– диапазон регулирования скорости вращения (разомкнутая система)

$D = 15:1$;

– погрешность скорости вращения (разомкнутая система) макс. ± 23 об/мин;

– максимальное сечение провода $S_{\text{пров}} = 4 \text{ мм}^2$.

Данный преобразователь имеет контрольные входы и выходы:

- 5 цифровых входов для функций старт/стоп, сброс, подключение термистора и др;

- 2 аналоговых входа для сигналов задания и обратной связи;

- 1 цифровой выход и 1 аналоговый выход;

- 1 релейный выход для сигнализации состояния и ошибок;

- RS-485 для полного контроля и управления приводом.

На рисунке 13 представлен внешний вид преобразователей частоты серии VLT 2855.

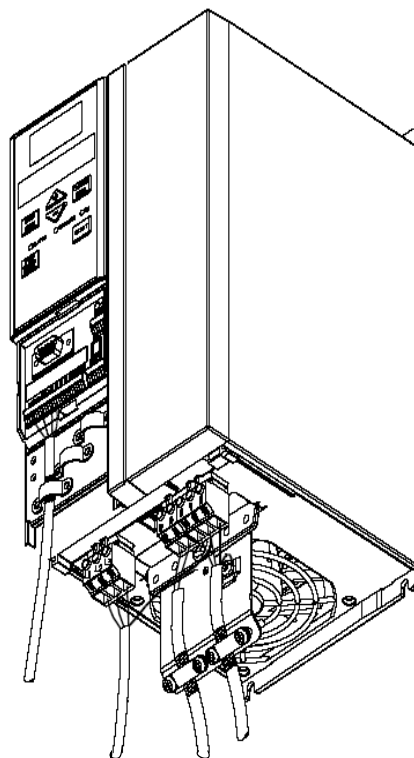


Рис. 13 - Внешний вид преобразователя частоты Danfoss серии VLT 2855

Серия VLT 2800 была разработана для применения с электрическими двигателями небольшой мощности. Модельный ряд представлен

мощностями от 0,37 до 18,5 кВт. Преобразователи этой серии имеют малые размеры и допускают монтаж способом «стенка к стенке». Внутренняя конструкция состоит из двух модулей: силовой части и платы управления.

Преобразователь частоты Danfoss VLT 2855 PT4 B20 ST RO DB F10 имеет ряд преимуществ:

- Благодаря АМТ - автоматической адаптации к двигателю, которая измеряет параметры двигателя для оптимального управления, повышается КПД системы "преобразователь частоты-двигатель".

- Встроенный ПИД - регулятор осуществляет оптимальное управление процессом регулирования. Точный старт/стоп обеспечивает хорошую повторяемость и точность позиционирования.

- Серия VLT 2800 сконструирована для стабильной работы в промышленных условиях. RFI - фильтр подавляет высокочастотные помехи в питающей сети и позволяет нормально работать оборудованию, предъявляющему дополнительные требования к электромагнитной совместимости.

- Встроенный фильтр подавления гармоник позволяет укладываться в нормы стандарта IEC 61000 – 3 - 2.

- Все преобразователи частоты серии VLT 2800 легко использовать благодаря функции "Быстрое меню", которая включает в себя все необходимые параметры для запуска и нормальной работы. Привод также может управляться и программироваться с внешней панели управления, снабженной графическим дисплеем. Протоколы связи Profibus и DeviceNet позволяют полностью контролировать и управлять приводом с персонального компьютера или контроллера.

Типичные способы применения: центробежные насосы и вентиляторы.

Преимущества данного типа преобразователя, а также относительно небольшая стоимость (в пределах 60 тыс. руб.) предопределили его применение в данной работе.

На рисунке 14 представлена схема подключения преобразователя частоты.

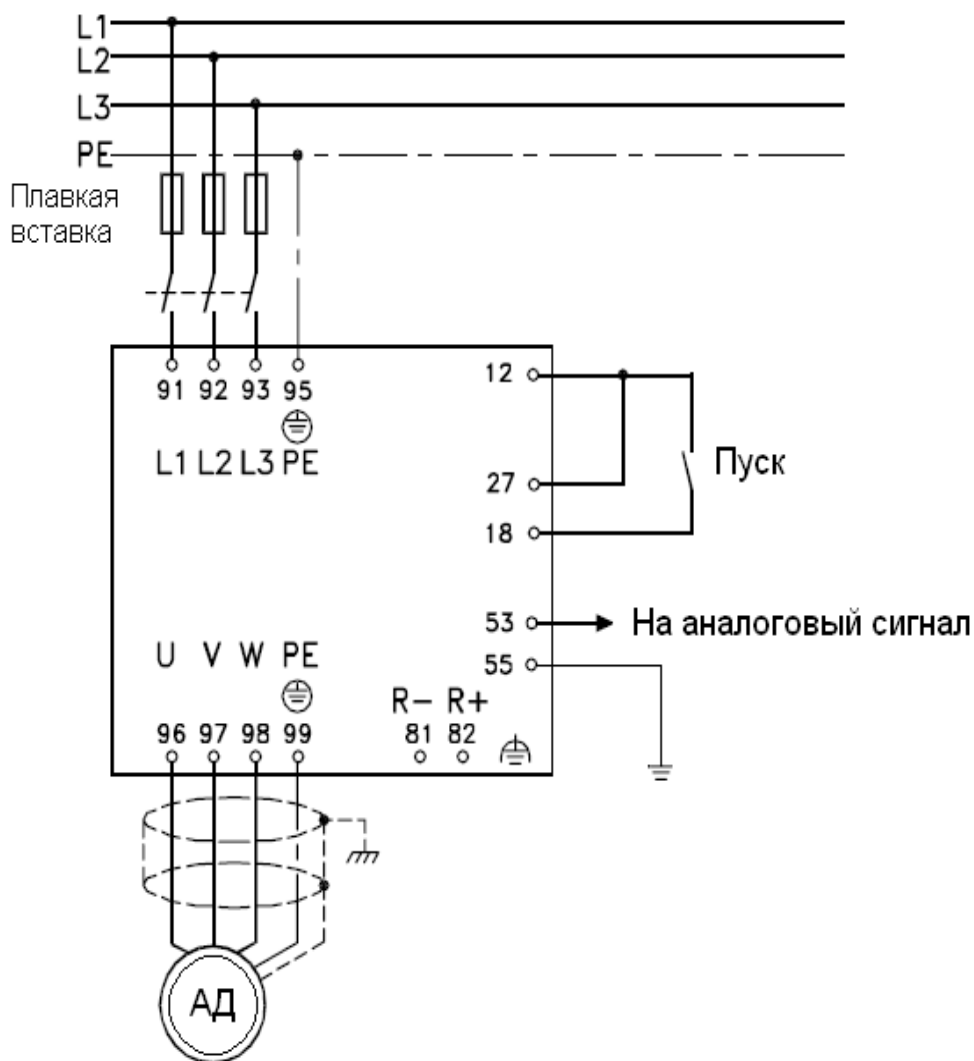


Рис. 14 - Схема подключения преобразователя частоты

Преобразователь частоты питается от трехфазной сети с линейным напряжением 380 В, фазы которой подключаются к клеммам L1, L2, L3, клемм PE заземляется. Сняв заднюю панель, замкнуть клеммы 12 и 27.

Асинхронный двигатель подсоединяется к клеммам U, V, W, а клемма PE заземляется.

3. Расчет параметров схемы замещения двигателя

Для расчета электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя воспользуемся его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения.

Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, представленная на рисунке 15.

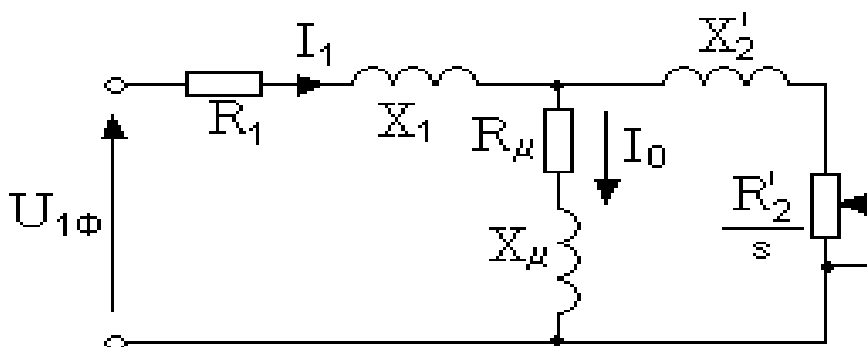


Рис. 15 – Схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения:

$$\begin{aligned}\overline{U_{1\phi}} - \overline{E_1} - j \cdot X_1 \cdot \overline{I_1} &= 0; \\ \overline{E_1} + j \cdot X_2' \cdot \overline{I_2'} + R_2' \cdot \overline{I_2'} / s &= 0; \\ \overline{I_1} + \overline{I_2'} - \overline{I_0} &= 0.\end{aligned}$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений, удовлетворяющих системе основных уравнений асинхронного двигателя, представлена на рисунке 16.

Определим параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя АИР112М4 по его каталожным данным.

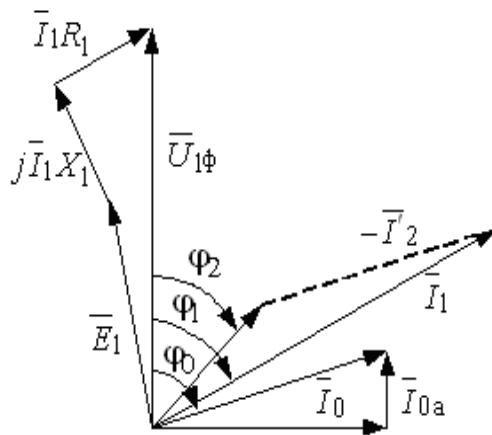


Рис. 16 – Векторная диаграмма асинхронной машины

Номинальная частота вращения:

$$n_n = n_0 \cdot (1 - S_n) = 1500 \cdot (1 - 0,017) = 1474,5 \text{ об/мин.}$$

Угловая синхронная скорость вращения:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot n_0}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1500}{60} = 157 \text{ рад/с.}$$

Номинальная угловая скорость вращения:

$$\omega_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1474,5}{60} = 154,3 \text{ рад/с.}$$

Номинальный ток цепи обмотки статора:

$$I_{1n} = \frac{P_n}{3 \cdot U_n \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{5500}{3 \cdot 220 \cdot 0,86 \cdot 0,955} = 10,147 \text{ А.}$$

Ток статора при частичной нагрузке:

$$I_{11} = \frac{P_* \cdot P_n}{3 \cdot U_n \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{0,75 \cdot 5500}{3 \cdot 220 \cdot 0,86 \cdot 0,955} = 7,998 \text{ А.}$$

Данные о коэффициенте мощности и КПД при частичной нагрузке в технической литературе отсутствуют. Определим эти параметры, руководствуясь следующими соображениями:

Современные асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при нагрузке на (10 - 15) % меньше

номинальной, т.к. большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому КПД при номинальной нагрузке и нагрузке $P_* = 0,75$ практически равны между собой, т.е. $\eta_H \approx \eta_{0,75} = 0,955$

Коэффициент мощности при нагрузке $P_* = 0,75$ значительно отличается от коэффициента мощности при номинальной нагрузке, причем это отличие в значительной степени зависит от мощности двигателя. Согласно зависимости, приведенной на рисунке 17, $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_H = 1$, тогда:

$$\cos \varphi_{P_*} = 1 \cdot \cos \varphi_H = 1 \cdot 0,86 = 0,86.$$

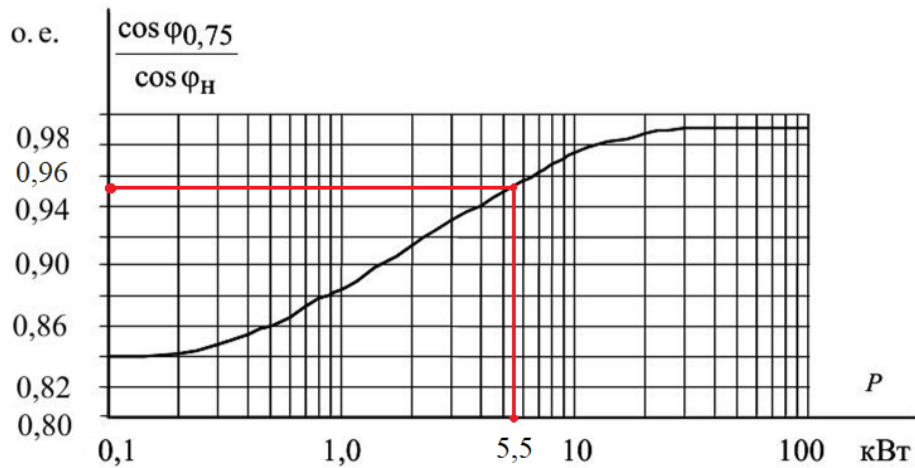


Рис. 17 – Зависимость $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_H$ от P_H двигателя.

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{P_* \cdot I_{1H} \cdot (1 - S_H)}{(1 - P_* \cdot S_H)} \right)^2}{1 - \left(\frac{P_* \cdot (1 - S_H)}{(1 - S_H \cdot P_*)} \right)^2}} = 3,81 \text{ A.}$$

Определим критическое скольжение, где $\beta = (0,6 - 2,5)$, в первом приближении принимаем значение коэффициента $\beta = 1$:

$$S_\kappa = S_H \cdot \frac{K_{\max} + \sqrt{(K_{\max})^2 - (1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (K_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (K_{\max} - 1)} = 0,107 \text{ о.е.}$$

Определим коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot K_i \cdot I_H} = 1,032 \text{ o.e.}$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - S_H)}{2 \cdot C_1 \cdot K_{max} \cdot P_H} = 4,822$$

Значение активного сопротивления цепи ротора, приведенного к обмотке статора:

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + \frac{1}{S_k}) \cdot C_1} = 0,452 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление цепи статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 0,467 \text{ Ом}$$

Значение индуктивного сопротивления короткого замыкания:

$$X_k = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 4,33 \text{ Ом.}$$

$$\text{где } \gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{S_e}\right)^2 - \beta^2} = 9,281 \text{ o.e.}$$

Если значение γ отрицательно, то необходимо изменить первоначально принятое значение β .

Индуктивное сопротивление ротора, приведенное к обмотке ротора:

$$X_2' = \frac{0,58 \cdot X_k}{C_1} = 2,434 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление статора:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_k = 1,819 \text{ Ом.}$$

Значение критического скольжения:

$$S_k = C_1 \cdot \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_k^2}} = 0,107 \text{ o.e.}$$

Полученное значение критического скольжения совпадает с ранее рассчитанными значениями.

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

$$E_1 = \sqrt{(U_{1н} \cdot \cos\varphi_{1н} - R_1 \cdot I_{1н})^2 + (U_{1н} \cdot \sin\varphi_{1н} - X_1 \cdot I_{1н})^2} = 206,949 \text{ В.}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_{mн} = \frac{E_1}{I_0} = 53,459 \text{ Ом.}$$

Все расчетные параметры схемы замещения приведены в таблице 3. Используя эти параметры, можно произвести расчет механических и электромеханических характеристик.

Таблица 3 – Расчетные параметры схемы замещения АД

$R_1, \text{Ом}$	$R_2', \text{Ом}$	$X_{кн}, \text{Ом}$	$X_{1н}, \text{Ом}$	$X_{2н}', \text{Ом}$	$X_{mн}, \text{Ом}$
0,467	0,452	4,33	1,819	2,434	53,459

3.1. Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик электродвигателя

Естественную механическую характеристику двигателя можно рассчитать по выражению:

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

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя представлена на рисунке 18.

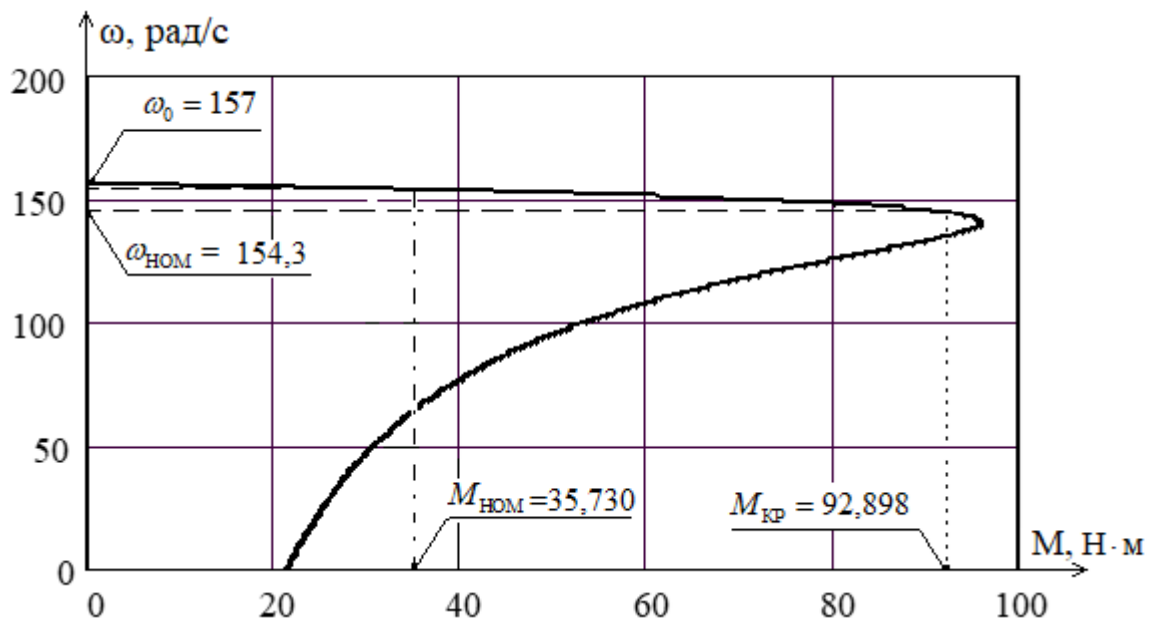


Рис. 18 – Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя $M = f(\omega)$.

Расчетная характеристика

Момент номинальный:

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_0 \cdot (1 - S_{\text{НОМ}})} = \frac{5500}{157,08 \cdot (1 - 0,02)} = 35,730 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Момент минимальный:

$$M_{\text{МИН}} = M_{\text{НОМ}} \cdot K_i = 35,73 \cdot 1,6 = 57,168 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Момент критический:

$$M_{\text{КР}} = M_{\text{НОМ}} \cdot K_{\text{КР}} = 35,73 \cdot 2,6 = 92,898 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Момент пусковой:

$$M_{\text{ПУСК}} = M_{\text{НОМ}} \cdot K_{\text{ПУСК}} \cdot i = 35,73 \cdot 2,2 = 75,606 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Естественная электромеханическая характеристика, определяющая зависимость приведенного тока ротора от скольжения:

$$I_2'(s) = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2}}$$

Ток статора \bar{I}_1 определяется путем сложения вектора тока намагничивания \bar{I}_0 и вектора тока ротора \bar{I}_2' согласно векторной диаграмме.

Полагаем ток намагничивания асинхронного двигателя I_0 реактивным

($I_{0A} = 0$).

Ток статора:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2} = 100,602 A$$

$$\text{Где - } \sin \varphi_2 = \frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2}}$$

Естественная электромеханическая характеристика $I_1 = f(\omega)$ приведена на рисунке 19.

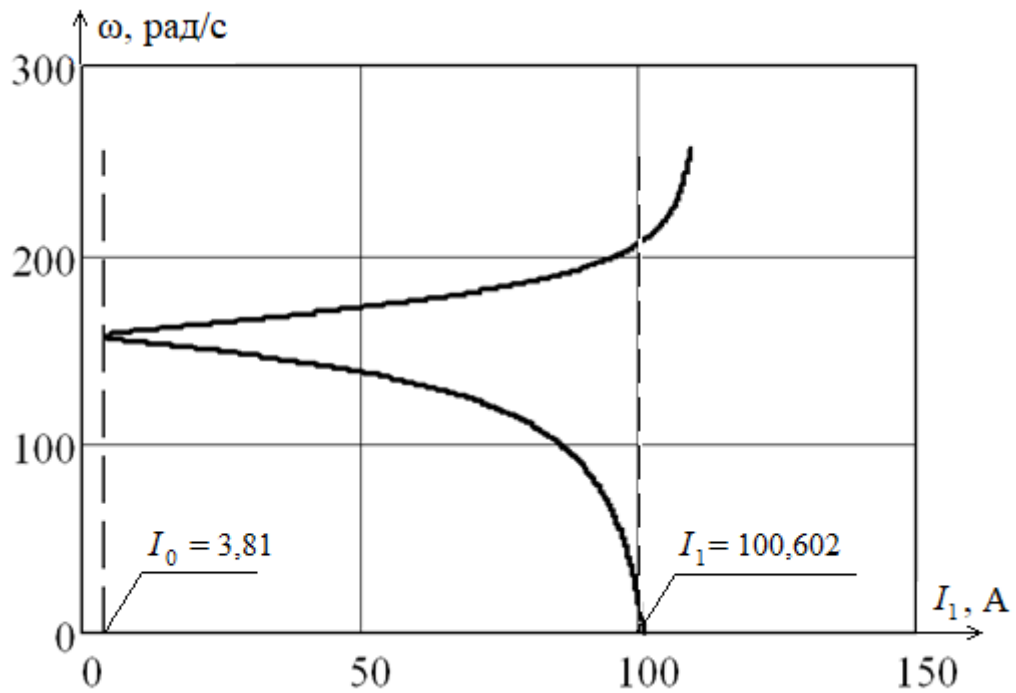


Рис. 19 - Электромеханическая характеристика асинхронного двигателя

4. Математическое описание обобщенной асинхронной машины

Обобщенная асинхронная машина показана на рисунке 20. Она содержит трехфазную обмотку на статоре и трехфазную обмотку на роторе. Обмотки статора и ротора подключены к симметричным трехфазным источникам напряжения. Математическое описание такой машины базируется на известных законах.

Уравнения равновесия ЭДС на обмотках статора и ротора базируется на **втором законе Кирхгофа**.

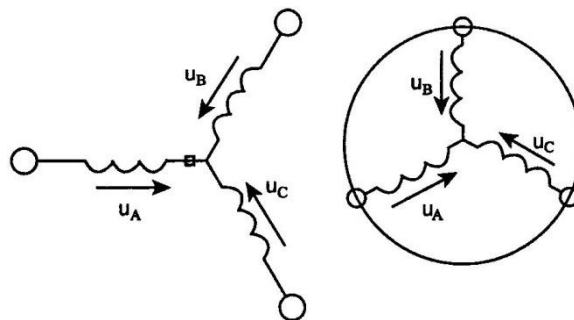


Рис. 20 – Обобщённая асинхронная машина

Для статора

Для ротора

$$\left\{ \begin{array}{l} u_A = R_A \cdot i_A + \frac{d\psi_A}{dt} \\ u_B = R_B \cdot i_B + \frac{d\psi_B}{dt} \\ u_C = R_C \cdot i_C + \frac{d\psi_C}{dt} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} u_a = R_a \cdot i_a + \frac{d\psi_a}{dt} \\ u_b = R_b \cdot i_b + \frac{d\psi_b}{dt} \\ u_c = R_c \cdot i_c + \frac{d\psi_c}{dt} \end{array} \right.$$

В уравнениях фигурируют мгновенные напряжения, токи потокосцепления статора и ротора, а также активные сопротивления обмоток.

Обычно обмотки выполняются симметричными, поэтому:

Активное сопротивление статорной обмотки,

$$R_A = R_B = R_C = R_s$$

Активное сопротивление роторной обмотки.

$$R_a = R_b = R_c = R_r$$

Вторым используемым законом является **закон Ампера**, который связывает потокосцепления обмоток с токами, протекающим по обмоткам:

Для статора:

$$\left. \begin{array}{l} \psi_A = L_{AA} \cdot i_A + L_{AB} \cdot i_B + L_{AC} \cdot i_C + L_{Aa} \cdot i_a + L_{Ab} \cdot i_b + L_{Ac} \cdot i_c \\ \psi_B = L_{BA} \cdot i_A + L_{BB} \cdot i_B + L_{BC} \cdot i_C + L_{Ba} \cdot i_a + L_{Bb} \cdot i_b + L_{Bc} \cdot i_c \\ \psi_C = L_{CA} \cdot i_A + L_{CB} \cdot i_B + L_{CC} \cdot i_C + L_{Ca} \cdot i_a + L_{Cb} \cdot i_b + L_{Cc} \cdot i_c \end{array} \right\}$$

Для ротора:

$$\left. \begin{aligned} \psi_a &= L_{aA} \cdot i_A + L_{aB} \cdot i_B + L_{aC} \cdot i_C + L_{aa} \cdot i_a + L_{ab} \cdot i_b + L_{ac} \cdot i_c \\ \psi_B &= L_{bA} \cdot i_A + L_{bB} \cdot i_B + L_{bC} \cdot i_C + L_{ba} \cdot i_a + L_{bb} \cdot i_b + L_{bc} \cdot i_c \\ \psi_c &= L_{cA} \cdot i_A + L_{cB} \cdot i_B + L_{cC} \cdot i_C + L_{ca} \cdot i_a + L_{cb} \cdot i_b + L_{cc} \cdot i_c \end{aligned} \right\}$$

Симметричные уравнения для определения потокосцеплений показывают, что потокосцепление каждой обмотки зависит от токов во всех обмотках; эти зависимости проявляются через взаимную индукцию.

В уравнениях:

$$L_{AA}, L_{BB}, L_{CC}, L_{aa}, L_{bb}, L_{cc}$$

являются собственными индуктивностями соответствующих обмоток все остальные – взаимными индуктивностями между соответствующими обмотками.

Третьим законом, лежащим в основе анализа, является второй **закон Ньютона** – закон равновесия моментов на валу машины:

$$J_{\Sigma} \cdot \frac{d\vec{\omega}_m}{dt} = \vec{M} - \vec{M}_n ,$$

где - J (кг·м²) – момент инерции на валу машины, учитывающий инерционность как самой машины, так и приведенной к валу инерционности рабочего механизма и редуктора

- $\vec{\omega}_m$ (1/rad) – угловая скорость вала машины
- \vec{M}_n (Н·м) – момент рабочего механизма, приведенный к валу, в общем случае он может быть функцией скорости и угла поворота.

Наконец, четвертым и последним законом, лежащим в основе анализа машины, является закон, сформулированный **Ленцем**, как **правило левой руки**. Этот закон связывает векторные величины момента, потокосцепления и тока:

$$\vec{M} = k \cdot (\vec{\psi} \cdot \vec{i})$$

На пути упрощения математического описания асинхронной машины, да и вообще всех машин переменного тока, удачным и изящным оказался **метод пространственного вектора**, который позволил существенно упростить и сократить вышеприведенную систему уравнений. Метод позволяет связать уравнения в единую систему с векторными переменными состояния. Суть метода состоит в том, что мгновенные значения симметричных трехфазных переменных состояния (напряжения, токи, потокосцепления) можно математически преобразовать так, чтобы они были представлены одним пространственным вектором. Это математическое преобразование имеет вид (например, для тока статора):

$$\vec{i} = \frac{2}{3} \cdot (i_A + \vec{a} \cdot i_B + \vec{a}^2 \cdot i_C)$$

где $\vec{a} = e^{j\frac{2\pi}{3}}$, $\vec{a}^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}}$ – векторы, учитывающие пространственное смещение обмоток.

$$i_A = I_m \cdot \cos(\omega \cdot t), i_B = I_m \cdot \cos\left(\omega \cdot t - \frac{2\pi}{3}\right), i_C = I_m \cdot \cos\left(\omega \cdot t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

– трехфазная симметричная система токов статора. Подставив в уравнения значение мгновенных токов, найдем математическое описание пространственного вектора статорного тока:

$$\vec{i}_s = \frac{2}{3} \cdot \left(\cos \omega t + e^{j\frac{2\pi}{3}} \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + e^{j\frac{4\pi}{3}} \cdot \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \right) = I_m \cdot e^{j\omega t}$$

На рисунке 21 представлена геометрическая интерпретация пространственного вектора тока — это вектор на комплексной плоскости с модулем (длиной), I_m вращающийся с угловой скоростью ω в

положительном направлении. Проекции вектора \vec{i}_s на фазные оси А, В, С определяют мгновенные токи в фазах. Аналогично пространственными векторами можно представить все напряжения, токи и потокосцепления, входящие в уравнения (1), (2).

Теперь можно переходить к упрощению уравнений.

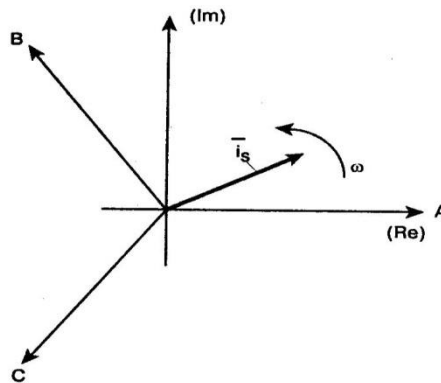


Рис. 21 – Пространственный вектор тока

Шаг первый: для преобразования уравнений в мгновенных значениях к уравнениям в пространственных векторах умножим их на выражения:

первые уравнения на $\frac{2}{3}$, вторые на $\frac{2}{3} \cdot \vec{a}$, третьи на $\frac{2}{3} \cdot \vec{a}^2$, – и сложим отдельно для статора и ротора. Тогда получим:

$$\begin{cases} \vec{u}_s = R_s \cdot \vec{i}_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} \\ \vec{u}_r = R_r \cdot \vec{i}_r + \frac{d\vec{\psi}_r}{dt} \\ \vec{\psi}_s = L_s \cdot \vec{i}_s + L_m(\Theta) \cdot \vec{i}_r \\ \vec{\psi}_r = L_r \cdot \vec{i}_r + L_m(\Theta) \cdot \vec{i}_s \end{cases}$$

где L_s, L_r – собственные индуктивности статора и ротора

$L_m(\Theta)$ – взаимная индуктивность между статором и ротором.

Таким образом, вместо двенадцати уравнений получено лишь четыре уравнения.

Шаг второй: переменные коэффициенты взаимной индукции в уравнениях для потокосцеплений являются результатом того, что уравнения равновесия ЭДС для статора записаны в неподвижной системе координат, связанной со статором, а уравнения равновесия ЭДС для ротора записаны во вращающейся системе координат, связанной с ротором. Метод пространственного вектора позволяет записать эти уравнения в единой системе координат, вращающейся с произвольной скоростью ω_k . В этом случае уравнения преобразуются к следующему виду:

$$\begin{cases} \vec{u}_s = R_s \cdot \vec{i}_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} + j\omega_k \vec{\psi}_s \\ \vec{u}_r = R_r \cdot \vec{i}_r + \frac{d\vec{\psi}_r}{dt} + j(\omega_k - \omega) \cdot \vec{\psi}_r \\ \vec{\psi}_s = L_s \cdot \vec{i}_s + L_m(\Theta) \cdot \vec{i}_r \\ \vec{\psi}_r = L_r \cdot \vec{i}_r + L_m(\Theta) \cdot \vec{i}_s \end{cases}$$

где $\omega = z_p \cdot \omega_m$, z_p – число пар полюсов в машине.

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

Шаг третий: этот шаг связан с определением момента. Момент в уравнении (3.6.4) является векторным произведением любой пары векторов. Из уравнения (3.6.8) следует, что таких пар может быть шесть:

$$(\vec{i}_s, \vec{i}_r); (\vec{\psi}_s, \vec{\psi}_r); (\vec{i}_s, \vec{\psi}_s); (\vec{i}_s, \vec{\psi}_r); (\vec{i}_r, \vec{\psi}_r); (\vec{i}_r, \vec{\psi}_s).$$

Часто в рассмотрение вводится потокосцепление взаимной индукции:

$$\vec{\psi}_m = L_m \cdot (\vec{i}_s + \vec{i}_r)$$

В этом случае появляется ещё четыре возможности представления электромагнитного момента машины через следующие пары: $(\vec{i}_s, \vec{\psi}_m); (\vec{i}_r, \vec{\psi}_m); (\vec{i}_r, \vec{\psi}_m); (\vec{\psi}_r, \vec{\psi}_m)$ после выбора той или иной пары уравнение момента приобретает определенность, а количество уравнений в системе сокращается до двух. Кроме того, в уравнениях векторные величины момента и скорости могут быть заменены их модульными значениями. Это является следствием того, что пространственные векторы токов и потокосцеплений расположены в плоскости, перпендикулярной оси вращения, а векторы момента и угловой скорости совпадают с осью. В качестве примера покажем запись уравнений момента через некоторые пары переменных состояния машины.

$$\begin{cases} M = \frac{3}{2} \cdot p \cdot L_m \cdot \text{Mod}(\vec{i}_s \times \vec{i}_r) \\ M = \frac{3}{2} \cdot p \cdot L_m \cdot \text{Mod}(\vec{\psi}_s \times \vec{i}_s) \\ M = \frac{3}{2} \cdot p \cdot L_m \cdot \text{Mod}(\vec{\psi}_r \times \vec{i}_s) \end{cases}$$

5. Обоснование и выбор структурной схемы силового канала электропривода

В силовой канал электропривода входят:

- преобразователь частоты, выполняющий функцию электрического преобразователя;
- электродвигатель, который выполняет функцию электромеханического преобразователя;
- механическая система, которая выполняет функцию механического преобразователя.

При решении задач анализа и синтеза регулируемых асинхронных электроприводов обычно применяются модели электродвигателя, составленные на базе обобщенной электрической машины и выполненные в неподвижной или вращающейся двухфазной системе координат.

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

$$\begin{cases} U_{1\alpha} = R_s \cdot (T_{\text{э}p} + 1) \cdot I_{1\alpha} - \frac{R_2' \cdot L_{\mu}}{L_2^2} \cdot \psi_{2\alpha} - \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ U_{1\beta} = R_s \cdot (T_{\text{э}p} + 1) \cdot I_{1\beta} - \frac{R_2' \cdot L_{\mu}}{L_2^2} \cdot \psi_{2\beta} - \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ 0 = (T_{2p} + 1) \cdot \psi_{2\alpha} - L_{\mu} \cdot I_{1\alpha} + \frac{L_2}{R_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ 0 = (T_{2p} + 1) \cdot \psi_{2\beta} - L_{\mu} \cdot I_{1\beta} + \frac{L_2}{R_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ M_{\text{эм}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot z_p \cdot (\psi_{2\alpha} \cdot I_{1\beta} - \psi_{2\beta} \cdot I_{1\alpha}); \\ \omega = \frac{1}{J_p} \cdot (M_{\text{эм}} - M_c) \end{cases}$$

На основании данной системы уравнений была составлена структурная схема на рисунке. Структурная схема, описывает процессы, происходящие в машине переменного тока, в которой действуют переменные величины напряжений, токов, потокосцеплений синусоидальной формы. Входными координатами структурной схемы являются составляющие напряжения управления преобразователя $U_{\text{уп}\alpha}$ и $U_{\text{уп}\beta}$, а выходной величиной – угловая скорость двигателя ω . Структурная схема, характеризуется следующими промежуточными координатами:

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

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

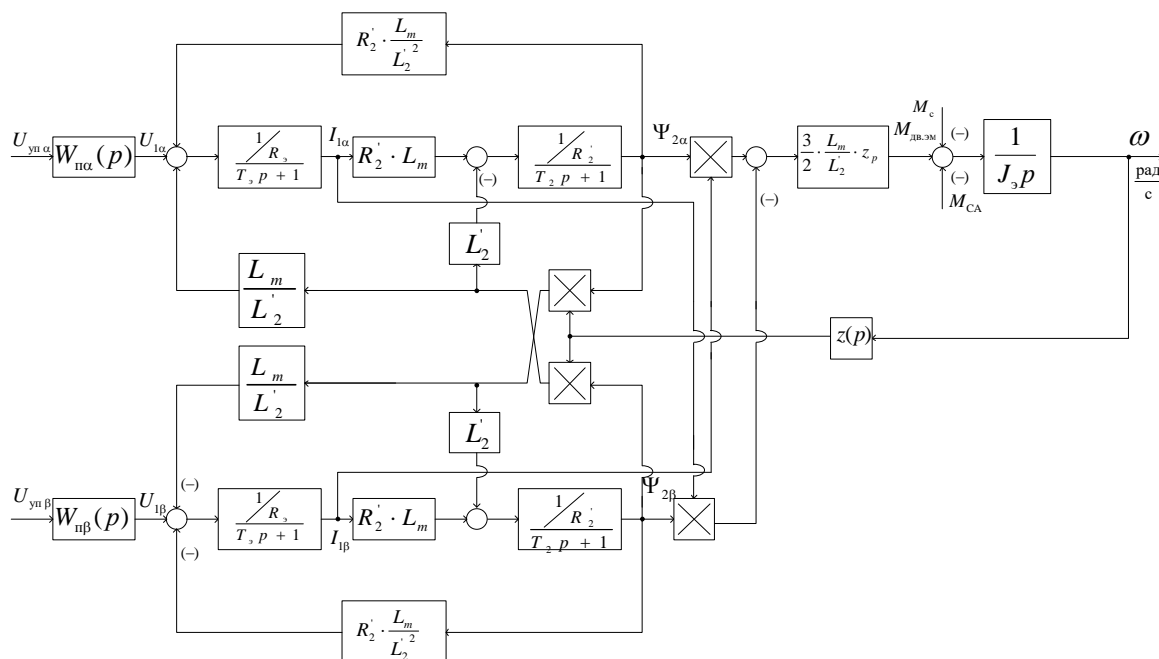


Рис. 22 - Структурная схема силового канала системы преобразователь-синхронный электродвигатель в неподвижной двухфазной системе координат

5.1. Статические характеристики вентилятора при регулировании скорости по закону регулирования с IR-компенсацией

Такой класс законов регулирования в электроприводах переменного тока получил широкое применение. Однако, при регулировании скорости

при помощи данного закона $\frac{U_{1j}}{f_{1j}^2} = const$, необходимо повышать фазное напряжение на двигателе на величину, определенное уравнением $U_{1j} = E_{1j} + I_1 \cdot R_1$, т.е. на величину падения напряжения на R_1 .

На практике широко применяются такие способы частотного регулирования скорости, как $E_{1j} / f_{1j} = const$, $E_{1j} / f_{1j}^2 = const$, $E_{1j} / \sqrt{f_{1j}} = const$. При регулировании скорости в классе законов E_{1j} / f_{1j} необходимо повышать

фазное напряжение $U_{1j} = E_{1j} + I_1 \cdot R_1$ на величину падения напряжения $I_1 \cdot R_1$ на активном сопротивлении обмотки статора, а способ регулирования скорости асинхронного двигателя получил название – частотное регулирование с IR -компенсацией.

$$f_{1n1} = 50 \text{ Гц}; f_{11}^* = \frac{f_{1n1}}{f_{1n}} = \frac{50}{50} = 1;$$

$$f_{1n2} = 25 \text{ Гц}; f_{12}^* = \frac{f_{1n2}}{f_{1n}} = \frac{25}{50} = 0,5;$$

$$f_{1n3} = 10 \text{ Гц}; f_{13}^* = \frac{f_{1n3}}{f_{1n}} = \frac{10}{50} = 0,2;$$

$$f_{1n4} = 5 \text{ Гц}; f_{14}^* = \frac{f_{1n4}}{f_{1n}} = \frac{5}{50} = 0,1.$$

Для поддержания отношения $U/f^2 = \text{const}$, необходимо изменять напряжение:

$$U_{1n2} = 0,088 \cdot f_{1n2}^2 \quad U_{1n2} = 55 \text{ В};$$

$$U_{1n3} = 0,088 \cdot f_{1n3}^2 \quad U_{1n3} = 8,8 \text{ В};$$

$$U_{1n4} = 0,088 \cdot f_{1n4}^2 \quad U_{1n4} = 2,2 \text{ В}.$$

Синхронная скорость на естественной характеристике:

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

Синхронная скорость на регулировочных характеристиках:

$$\omega_{12} = \omega_0 \cdot f_{12}^* = 157,08 \cdot 0,5 = 78,54 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{13} = \omega_0 \cdot f_{13}^* = 157,08 \cdot 0,2 = 31,416 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{14} = \omega_0 \cdot f_{14}^* = 157,08 \cdot 0,1 = 15,708 \text{ рад/с}.$$

Электромеханические характеристики, определяющие зависимость приведенного тока ротора от скольжения:

$$I_2(s) = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + X_K^2 \cdot f_1 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_\mu \cdot f_1}\right)^2}}, \quad (2.38)$$

где $S_j = \frac{\omega_{0j} - \omega}{\omega_{0j}}$ – относительное скольжение.

Пример расчета для $S_j = 1, R_l = 0,467 \text{ Ом}, f_{l*} = 1$:

$$I_2 = \frac{220}{\sqrt{0,467^2 \cdot 1^2 + \left(0,00685 + \frac{0,00675}{1}\right)^2 + \left(\frac{0,467 \cdot 0,452}{1 \cdot 53,459 \cdot 1}\right)^2}} = 49,697 \text{ А},$$

где U_{1j} – фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя;

$f_{1*} = \frac{f_{1j}}{f_{1H}}$ – относительное значение частоты питающего напряжения.

Электромеханические характеристики представлены на рисунке 23.

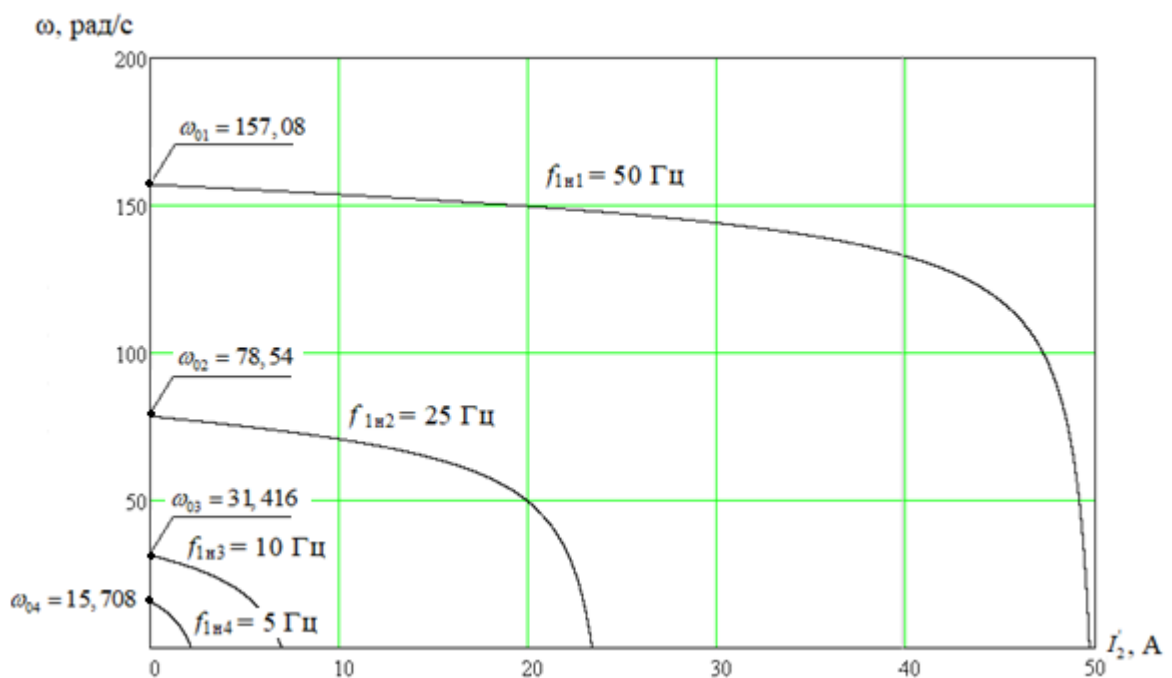


Рис. 23 - Электромеханические характеристики $I_2 = f(\omega)$.

Рассчитаем электромеханические характеристики АД $I_1 = f(\omega)$ при различных значениях частот обмоток статора.

Полагая ток намагничивания асинхронного двигателя I_0 реактивным ($I_{0A} = 0$), ток статора I_1 через приведенный ток ротора I_2' можно найти по формуле

$$I_{1i} = \sqrt{I_0^2 + I_{2i}'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_{2i}'(s) \cdot \sin \varphi_{2i}(s)} = 53,16 A \quad (2.40)$$

$$\text{Где- } \varphi_{2i}(s) = \arcsin \left[\frac{X_{\text{кн}} \cdot (f_{1i}^*)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot (f_{1i}^*)^2}} \right].$$

Пример расчета для $S_j = 1, R_l = 0,467 \text{ Ом}, f_{l*} = 1$:

Электромеханические характеристики для тока статора приведены на рисунке 24.

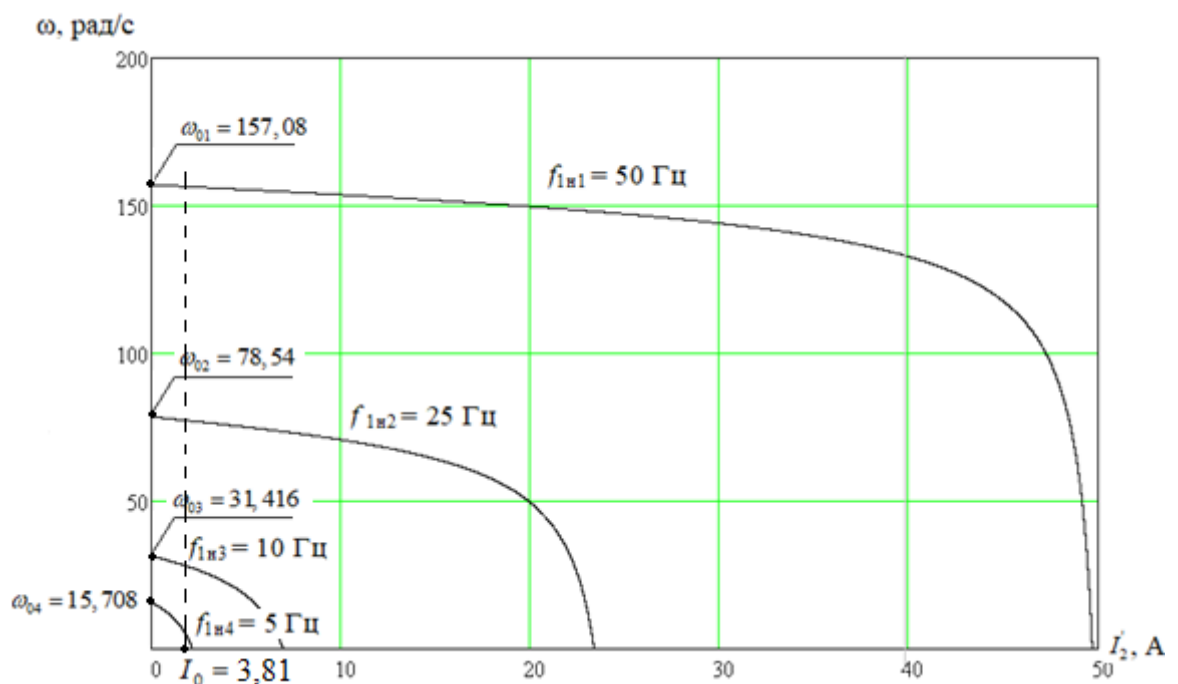


Рис. 24 – Электромеханические характеристики $I_1 = f(\omega)$.

Выражение для расчета механических характеристик:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_1 \cdot R_2'}{\omega_{0H} \cdot s \cdot \left[X_K^2 \cdot (f_1)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot f_1} \right)^2 \right]}$$

Пример расчета критического скольжения и критического момента для $R_l = 0,467 \text{ Ом}, f_{l*} = 1$:

$$S_{кр} = R'_2 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{R_l^2}{X_\mu^2 \cdot f_{l*}^2}\right) + 1}{R_l^2 + (X_l + X'_2)^2 \cdot f_{l*}^2}}$$

$$M_{кр} = \frac{3 \cdot U_{lj}^2}{2 \cdot \omega_{0j} \cdot \left[R_l + \sqrt{\left(R_l^2 + (X_l + X'_2)^2 \cdot f_{l*}^2 \right) \cdot \left(1 + \frac{R_l^2}{X_\mu^2 \cdot f_{l*}^2} \right)} \right]} = 95,845 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Механические характеристики представлены на рисунке 25.

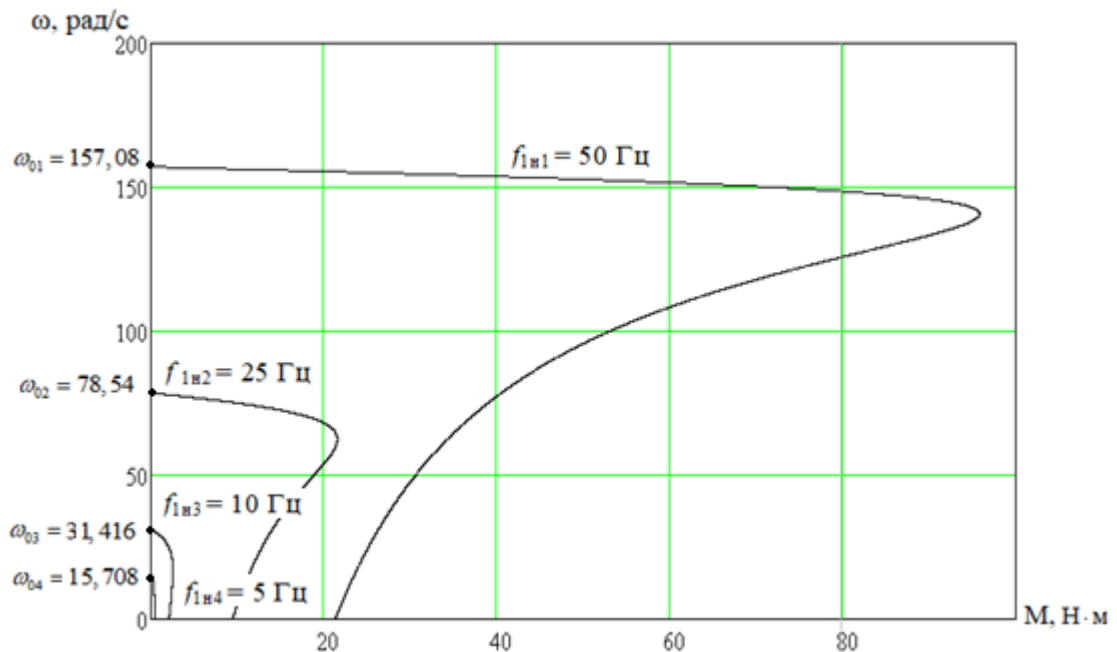


Рис. 25 - Искусственные механические характеристики $M(\omega)$

5.2. Расчет потерь в асинхронном двигателе при работе, на искусственных характеристиках с вентиляторной нагрузкой

Вентиляторная нагрузка описывается уравнением:

$$M_H = M_0 + k \cdot \omega_H^2,$$

где M_0 – момент вентиляционной нагрузки. $M_0 = 1$

k - коэффициент вентиляционной нагрузки. $k=0,0014$

ω_H - частота вращения

Подставляя значения частот получаем значения моментов. Строим механические характеристики двигателя и нагрузки.

График функции приведен на рисунке 26.

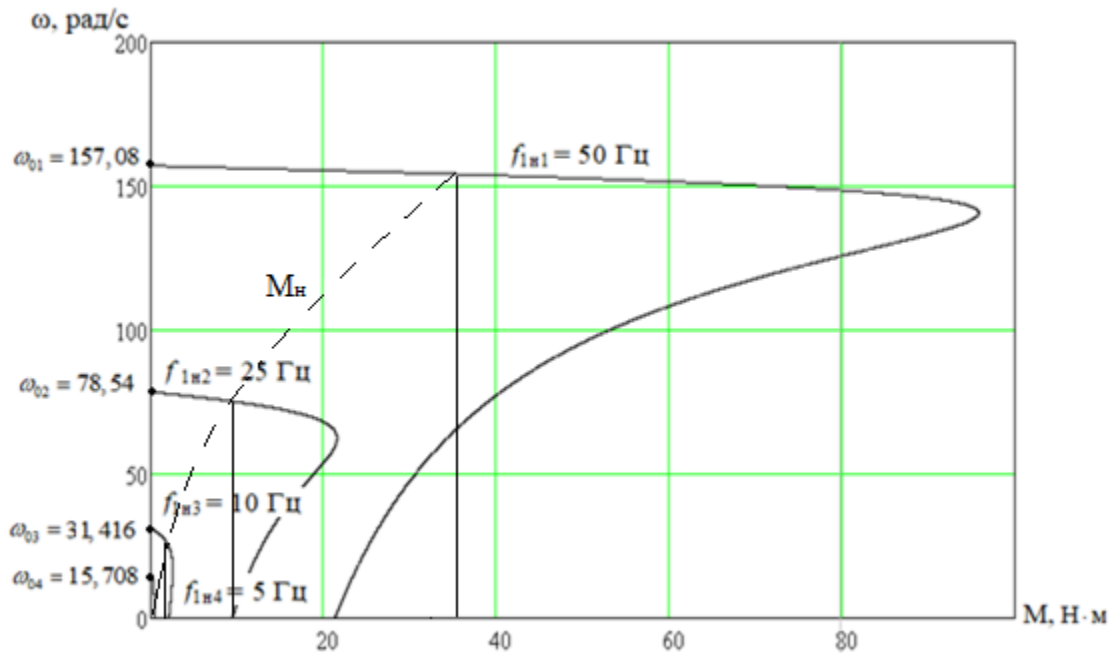


Рис. 26 – Искусственные механические характеристики $M(\omega)$ при частотном регулировании скорости с вентиляторной нагрузкой

Найдем частоты вращения, при которых происходит пересечение механических характеристик нагрузки и двигателя: ω рад/с;

1. $f_{1n1} = 50$ Гц – $\omega_{p1} = 154$ рад/с;
2. $f_{1n2} = 25$ Гц – $\omega_{p2} = 77,6$ рад/с;
3. $f_{1n3} = 10$ Гц – $\omega_{p3} = 31$ рад/с;

Определим момент нагрузки и скольжение для каждой частоты вращения:

$$M_{с.винт1} = M_0 + k \cdot \omega_{p1}^2 = 1 + 0,0014 \cdot 154^2 = 34,5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_{p1} = \frac{\omega_0 - \omega_{p1}}{\omega_0} = \frac{157,08 - 154}{157,08} = 0,01$$

$$M_{с.винт2} = M_0 + k \cdot \omega_{p1}^2 = 1 + 0,0014 \cdot 76^2 = 9,1 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_{p2} = \frac{\omega_0 - \omega_{p1}}{\omega_0} = \frac{78,54 - 77,6}{78,54} = 0,011$$

$$M_{с.винт3} = M_0 + k \cdot \omega_{p1}^2 = 1 + 0,0014 \cdot 31^2 = 2,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_{p3} = \frac{\omega_0 - \omega_{p1}}{\omega_0} = \frac{31,416 - 31}{31,416} = 0,013$$

Потери в роторе рассчитаем по выражению:

$$\Delta P_2 = \omega_0 \cdot s_p \cdot M_{с.винт}$$

$$\Delta P_1 = \omega_{01} \cdot s_{p1} \cdot M_{с.винт1} = 157,08 \cdot 0,01 \cdot 34,5 = 54,2 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_2 = \omega_{02} \cdot s_{p2} \cdot M_{с.винт2} = 78,54 \cdot 0,011 \cdot 9,1 = 7,861 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_3 = \omega_3 \cdot s_{p3} \cdot M_{с.винт3} = 31,416 \cdot 0,01 \cdot 2,3 = 0,722 \text{ Вт};$$

Анализируя потери в роторе, можно сказать, что, уменьшая частоты преобразователя, можно снизить потери. Это можно объяснить тем, что момент нагрузки прямо пропорционален частоте вращения.

5.3. Расчет динамических характеристик асинхронного двигателя

Так как параметры схемы замещения асинхронного двигателя найдены с помощью методики, допускающей определенную погрешность, то для окончательной проверки правильности их нахождения, проверим асинхронный двигатель в динамике. Моделирование асинхронного двигателя будем производить в абсолютных единицах, так как современные программные средства для численных вычислений, расчетов и математического моделирования, например, MATLAB позволяют автоматически устанавливать масштаб моделирования независимо от мощности двигателя или его параметров.

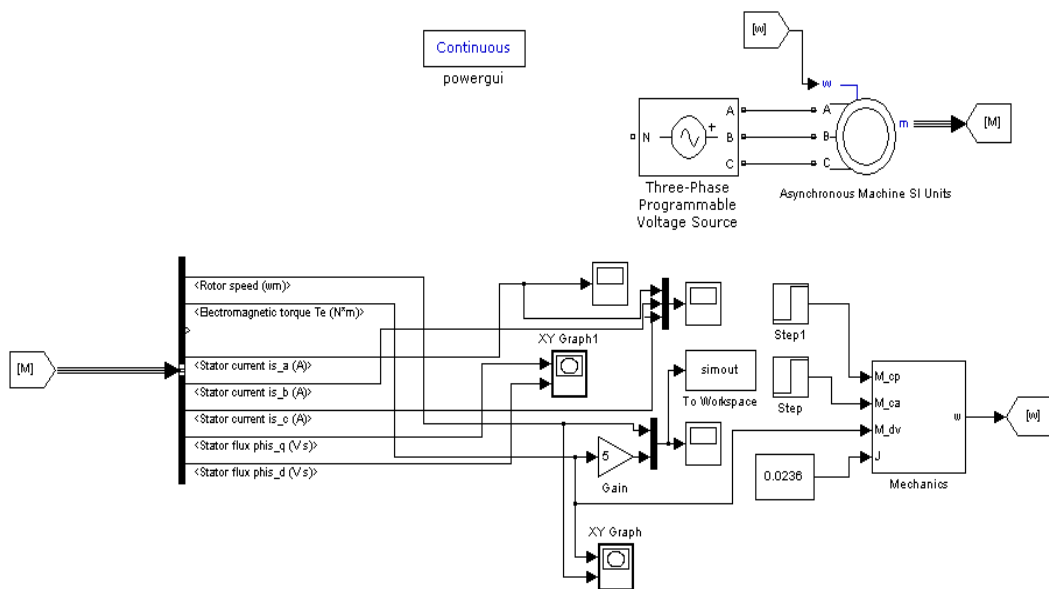


Рис. 27 - Имитационная модель асинхронного двигателя в программной среде MATLAB - Simulink

Ввод параметров схемы замещения асинхронного двигателя произведен через диалоговое окно, которое вызывается двойным щелчком по изображению двигателя.

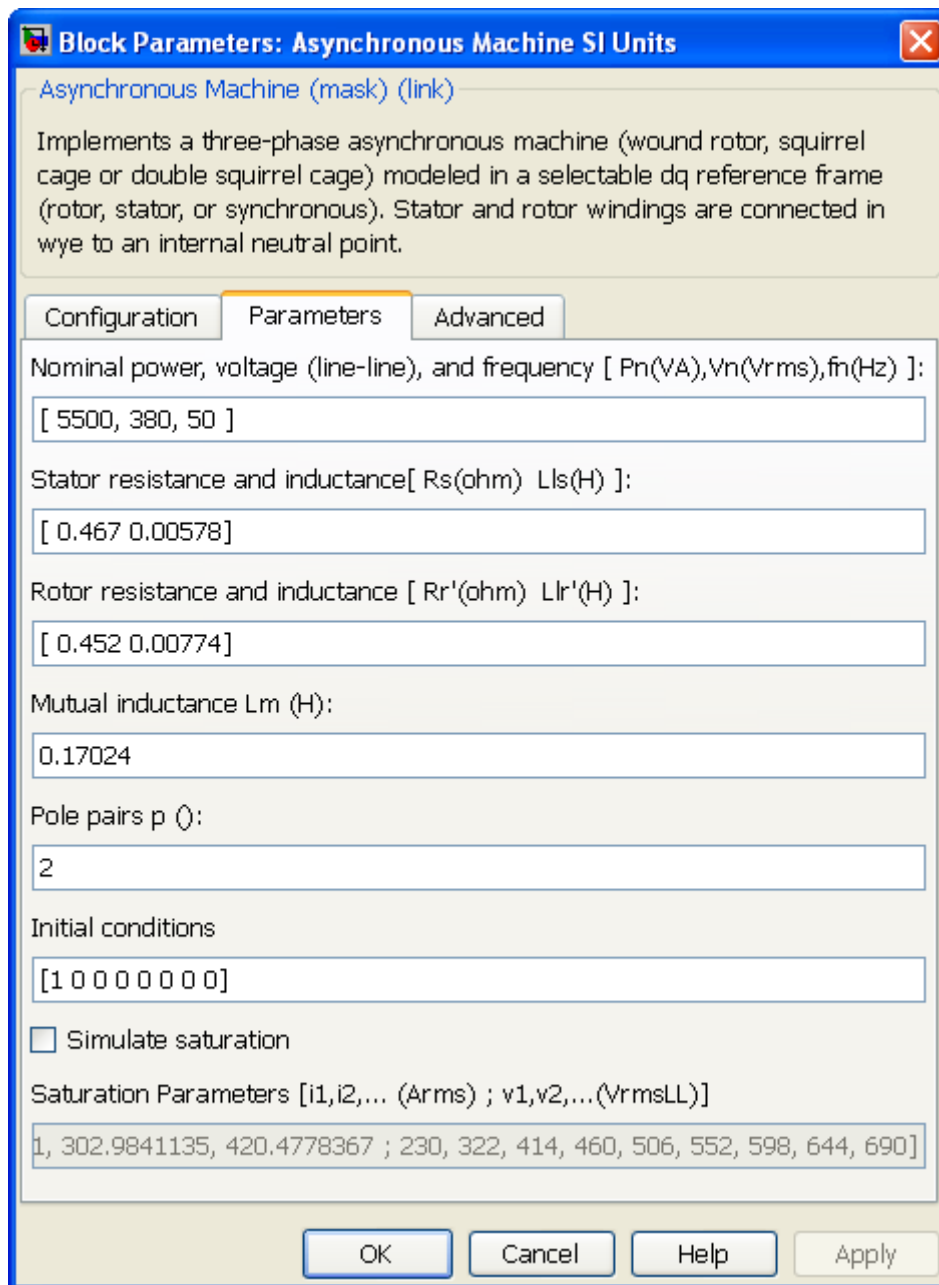


Рис. 28 - Окно ввода параметров

Графики переходных процессов скорости $\omega=f(t)$ и момента $M=f(t)$ при пуске асинхронного электродвигателя прямым включением в сеть представлен на рисунке 29.

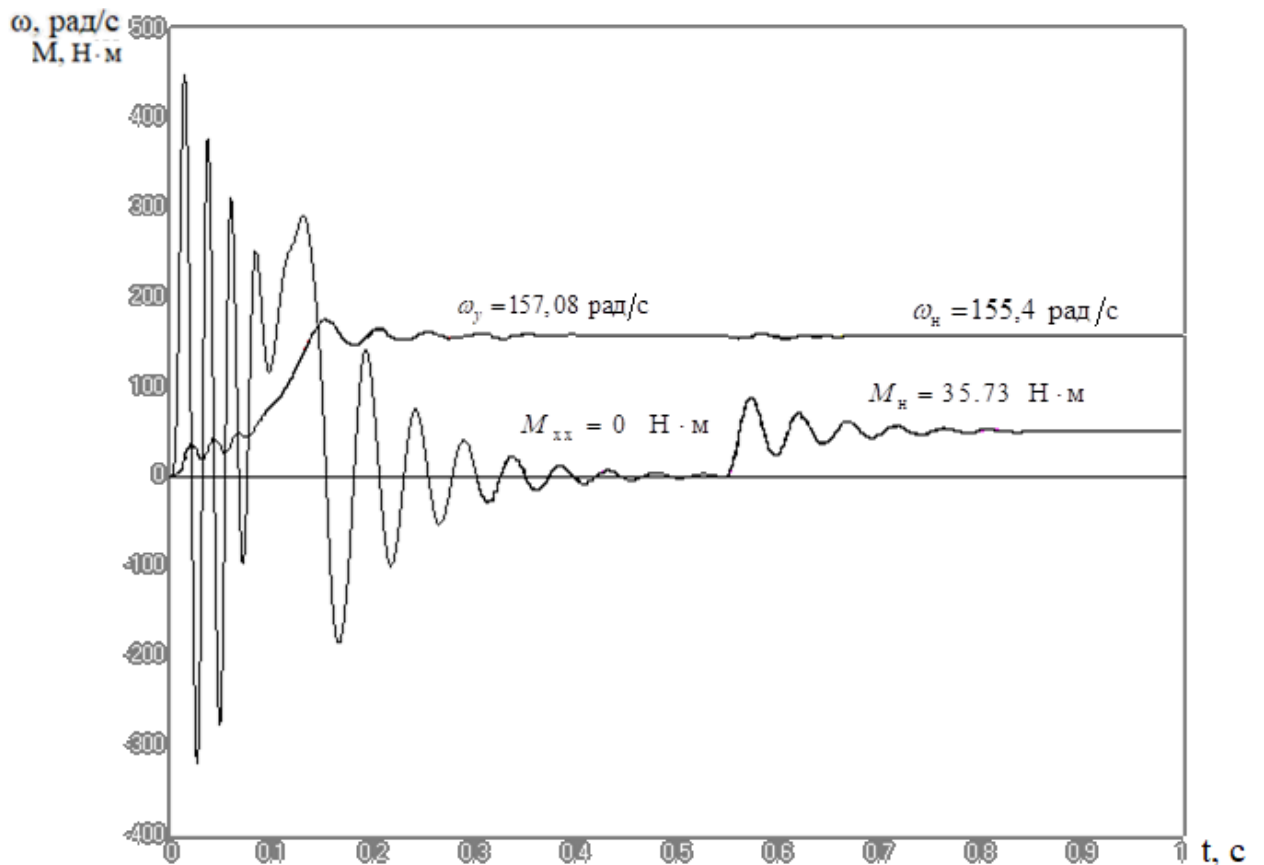


Рис. 29 - Графики переходных процессов скорости $\omega = f(t)$ и момента

$$M = f(t)$$

Время регулирования – $t_p = 0,25$ с,

Установившееся значение скорости – $\omega_{уст} = 155,4 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$

Анализ графиков показывает, что при отработке переходных процессов без нагрузки (режим идеального холостого хода) асинхронный двигатель разогнался до синхронной скорости $\omega_y = 157,08 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, его электромагнитный момент установился равным нулю.

В момент времени $t = 0,55$ с на валу двигателя произведен наброс нагрузки, равный номинальному моменту двигателя $M_c = 35,73$ Н·м. При отработке возмущающего воздействия установившаяся скорость двигателя уменьшилась до номинальной скорости $\omega_n = 155,4 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, электромагнитный

момент в установившемся режиме стал равен статическому моменту на валу двигателя $M_c = 35,73 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Графики переходных процессов тока статора $I_c = f(t)$, при пуске асинхронного двигателя без токоограничения приведены на рисунке 30.

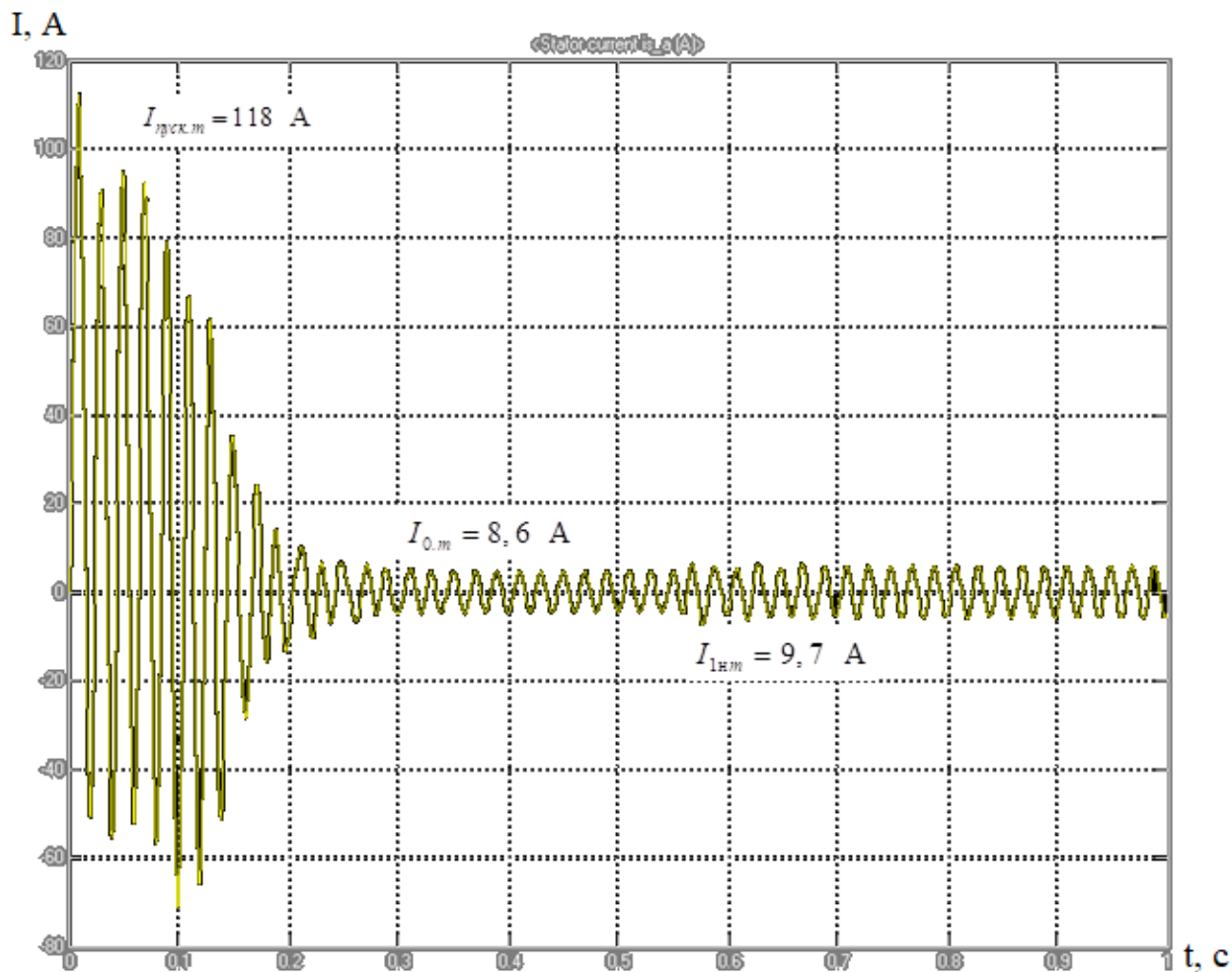


Рис. 30 - График переходных процессов тока статора $I_c = f(t)$

Пусковой ток асинхронного двигателя, найденный по результатам расчета переходных процессов, составляет:

$$I_{\text{пуск}} = \frac{I_{\text{пуск.м}}}{\sqrt{2}} = \frac{118}{\sqrt{2}} = 83,43 \text{ A},$$

где $I_{\text{пуск.м}}$ – амплитудное значение пускового тока статора.

Максимальный ток, потребляемый двигателем при прямом пуске

$$I_{\text{п}} = k_{\text{т}} \cdot I_{1н} = 6 \cdot 9,7 = 58,2 \text{ A},$$

где $k_{\tau} = \frac{I_n}{I_{1н}} = 6$ – перегрузочная способность асинхронного двигателя по току;

$I_{1н} = 9.7 \text{ A}$ – номинальный ток обмоток статора асинхронного двигателя.

Расхождения в определении пускового тока объясняются тем, что имитационная модель асинхронного двигателя не учитывается эффект вытеснения тока на поверхность проводников ротора и насыщение зубцов ротора возникающие при пуске.

Номинальный ток статора двигателя, найденный по результатам расчета переходных процессов:

$$I_{1н} = \frac{I_{1нм}}{\sqrt{2}} = \frac{9,7}{\sqrt{2}} = 6,86 \text{ A},$$

где $I_{1нм}$ – амплитудное значение номинального тока статора, незначительно отличается от номинального тока статора ($I_{1н} = 10,147 \text{ A}$) паспортных данных двигателя.

Графики переходных процессов тока, скорости и момента показали, что асинхронный электродвигатель с найденными параметрами схемы замещения является устойчивым звеном и эти параметры можно использовать в дальнейшем при исследовании и настройке систем регулирования с применением данного двигателя.

5.4. Расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска при вентиляторной нагрузке на валу двигателя системы «Преобразователь частоты – Асинхронный двигатель»

В соответствии с функциональной схемой, представленной на рисунке 31 составим имитационную модель привода.

Для этого определим передаточные функции входящих в нее блоков.

Представим математически рассчитанную и аппроксимированную ломаными линиями кривую зависимости $U_{1\phi} = 0,0046 \cdot f_1^2$.

Кривая задается в блоке ПЧН шестью точками:

1. $f = 5$ Гц, 2. $f = 10$ Гц, 3. $f = 15$ Гц, 4. $f = 25$ Гц, 5. $f = 35$ Гц, 6. $f = 50$ Гц.

Инвертор напряжения представим аperiodическим звеном. Его передаточная функция:

$$W_{ин}(p) = \frac{k_{ин}}{T_{ин} \cdot p + 1} = \frac{1}{0,0002p + 1},$$

где $k_{ин} = 1$ - коэффициент передачи инвертора;

$$T_{ин} = \frac{1}{f_{нч}} = \frac{1}{5000} = 0,0002.$$

Постоянная времени запаздывания автономного инвертора напряжения,

где $f_{нч} = 5000$ Гц - несущая частота инвертора.

Положительная обратная связь по току представляется аperiodическим звеном

$$W_{км}(p) = \frac{k_{км}}{T_{км}p + 1} = \frac{0,1}{0,02p + 1}.$$

где $k_{км}$ - коэффициент положительной обратной связи по току, примем $k_{км} = 0,1$;

$T_{км}$ - постоянная времени задержки измерения тока. Время достаточное для определения мгновенного значения тока статора асинхронного двигателя для современных контроллеров составляет $T_{км} = 0,02$ с.

Имитационная модель изображена на рисунке 31. Модели входящих в нее блоков представлены на схемах.

Continuous
powergui

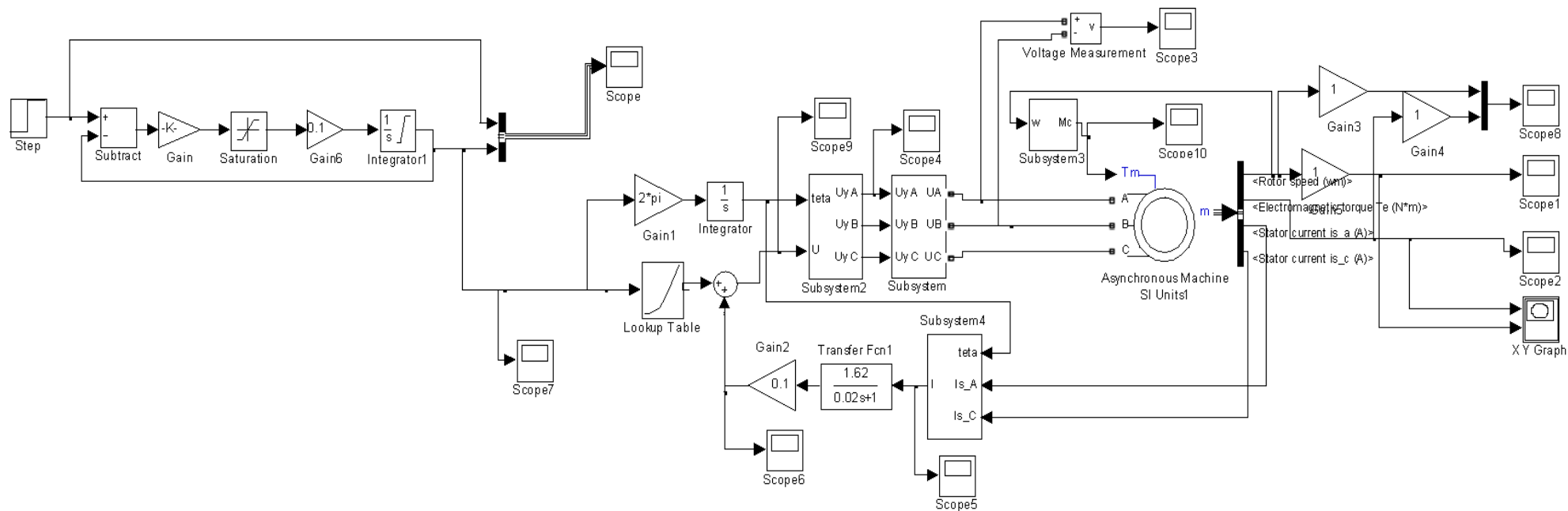


Рис. 31 - Имитационная модель замкнутой системы ПЧ-АД с IR-компенсацией

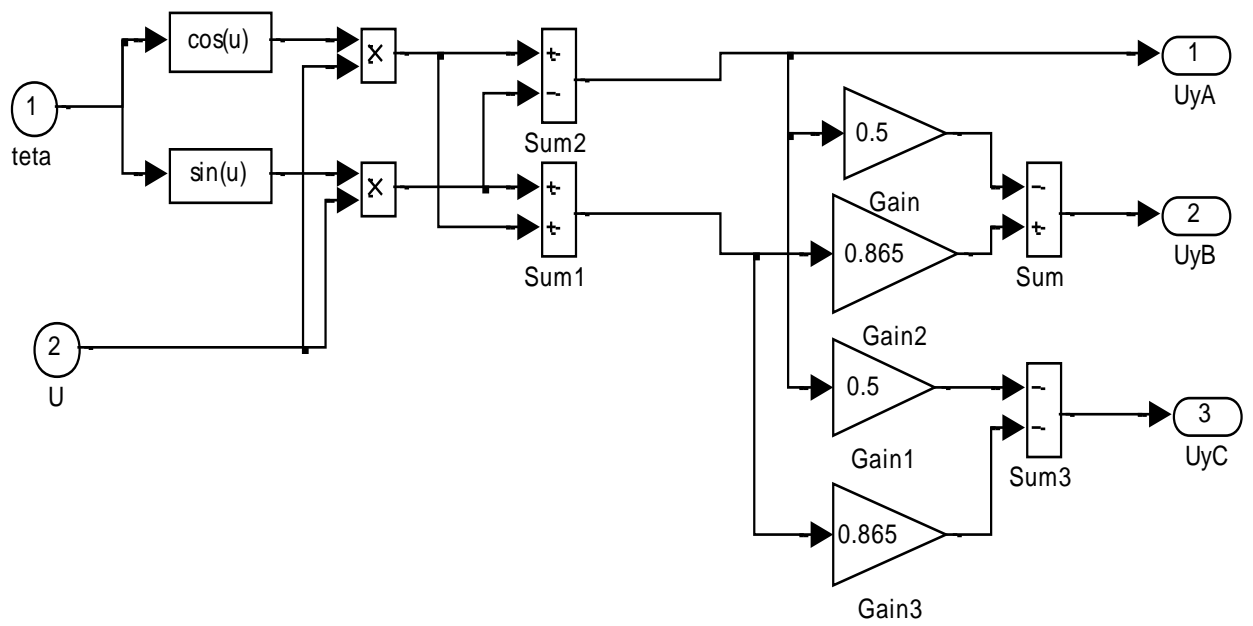


Рис. 32 - Имитационная модель прямого координатного преобразователя

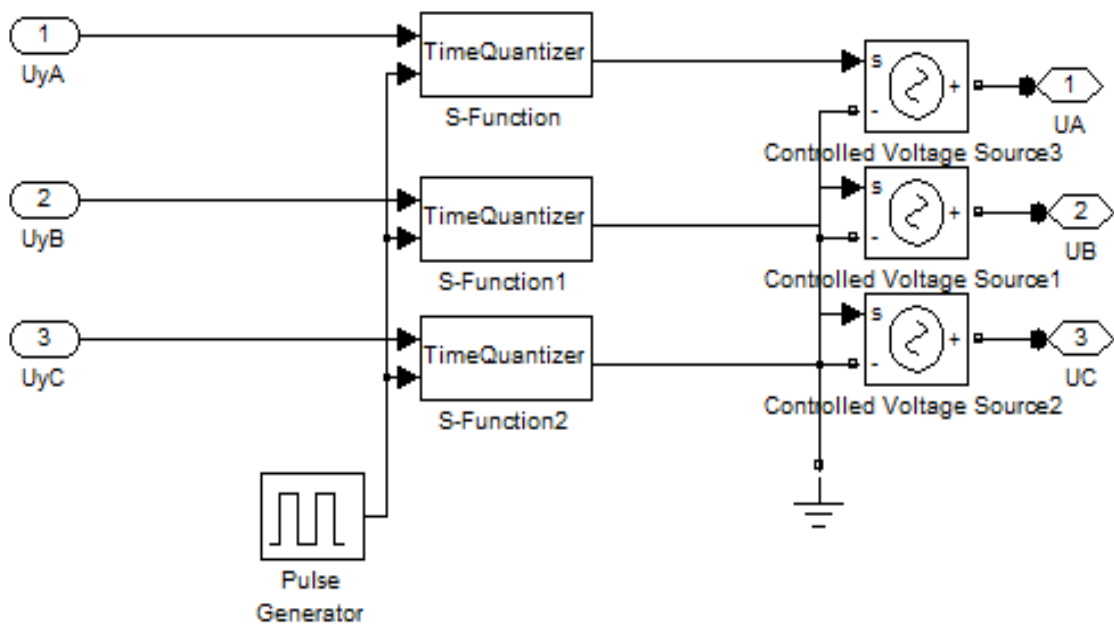


Рис. 33 - Имитационная модель преобразователя частоты

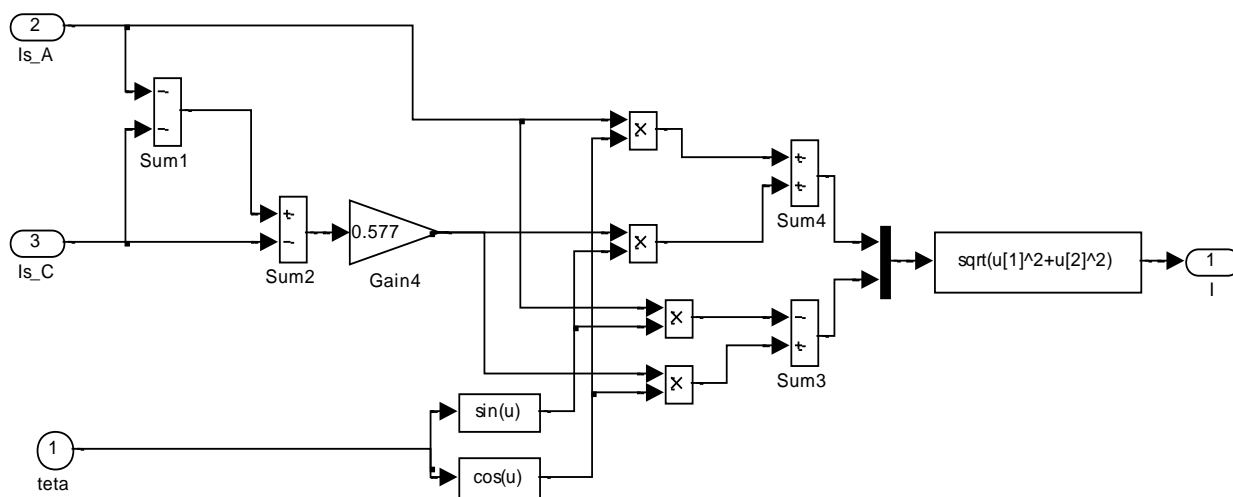


Рис. 34 - Имитационная модель обратного координатного Преобразователя

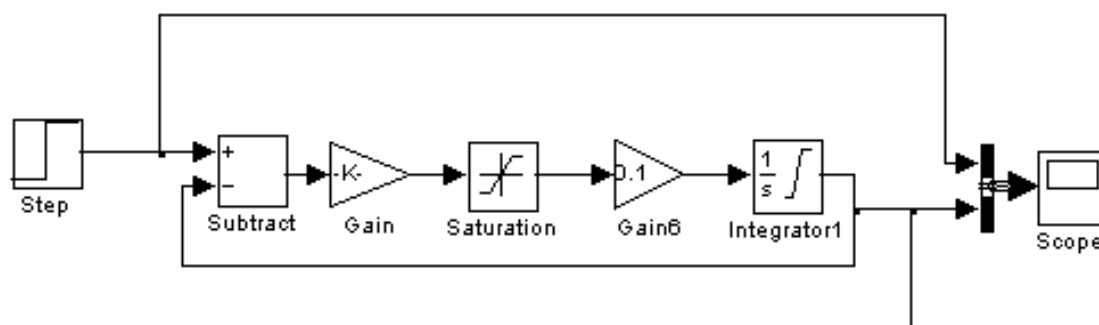


Рис. 35 - Имитационная модель датчика интенсивности

На входе электропривода установлен линейный датчик интенсивности (ЗИ) имитационная модель, которого приведена на рисунке. Постоянная времени ЗИ по технологии равна $T_{зи} = 10$ с. С его применением во входной цепи управления электропривода может быть достигнуто ограничение момента и тока двигателя в пусковых режимах.

Динамические, механические и переходные характеристики скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске от ЗИ при частотах преобразователя частоты 50 Гц, 30 Гц, и 10 Гц при коэффициенте IR-компенсации $k_{км} = 0,1$ и $0,25$ полученные на модели, представлены на рисунках 36 - 50.

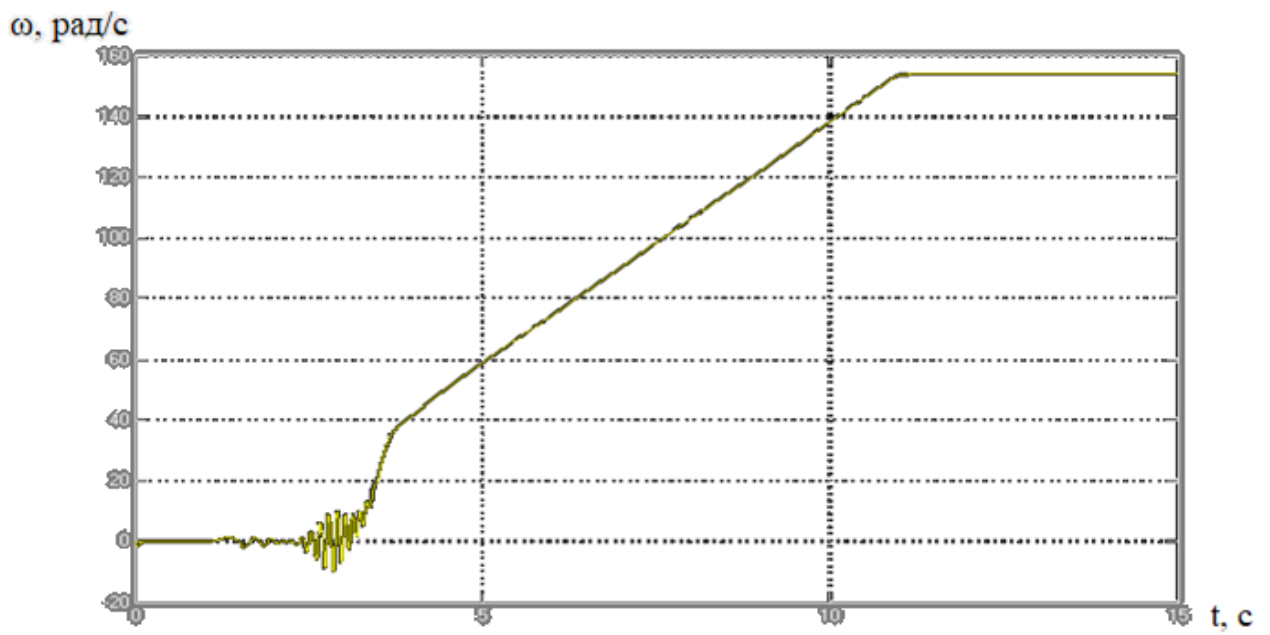


Рис. 36 – График переходных процессов $\omega = f(t)$ при частоте 50 Гц и $k_{\text{KM}}=0,1$ о.е.

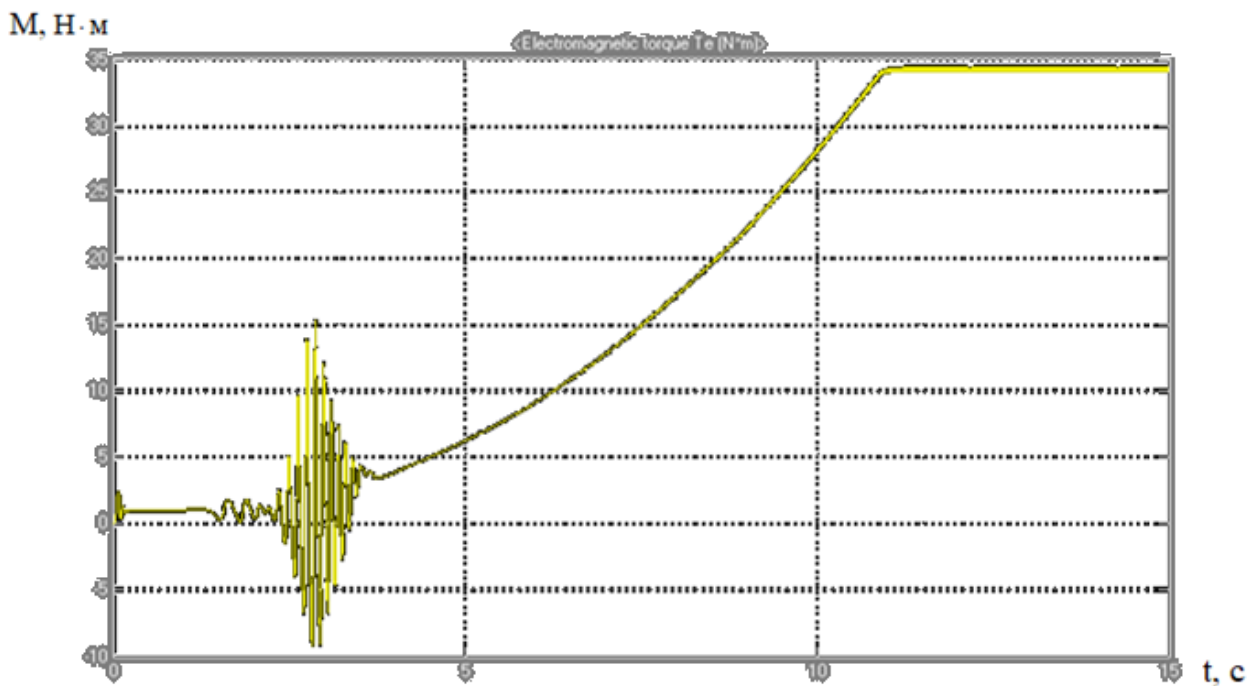


Рис. 37 – График переходных процессов $M = f(t)$ при частоте 50 Гц и $k_{\text{KM}}=0,1$ о.е.

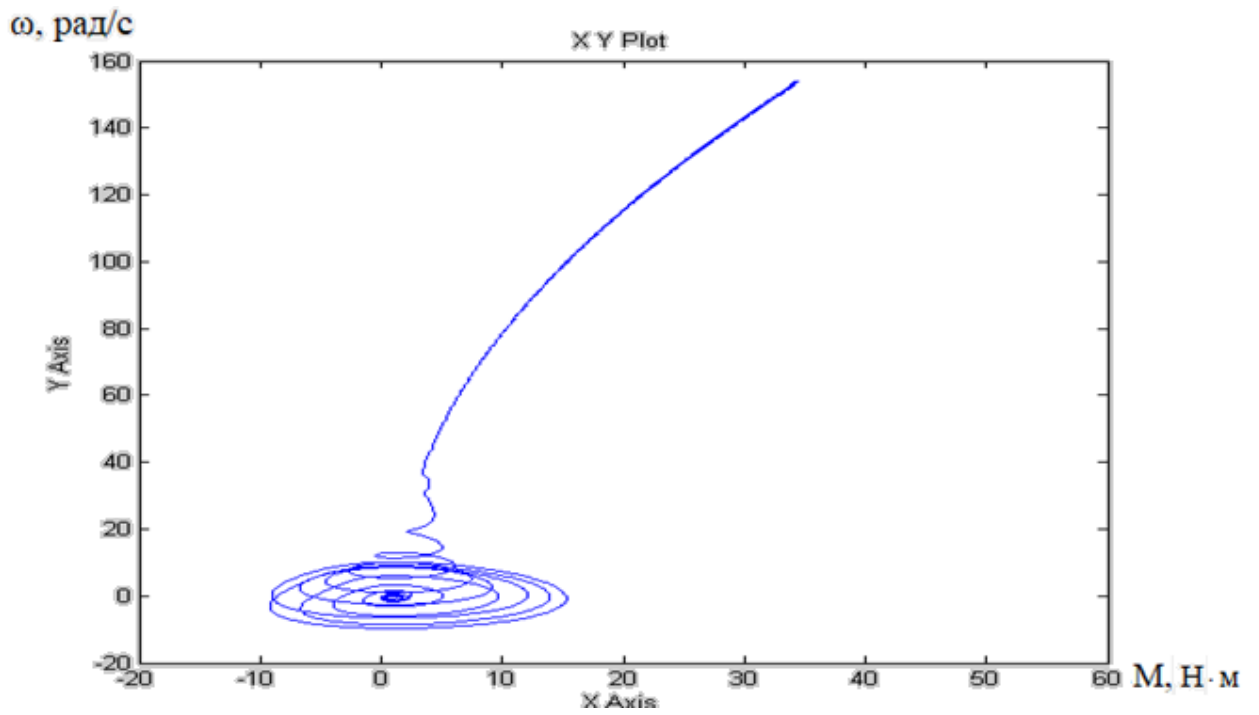


Рис. 38 – Динамические характеристики при частоте 50 Гц. и $k_{\text{CM}}=0,1$ о.е.

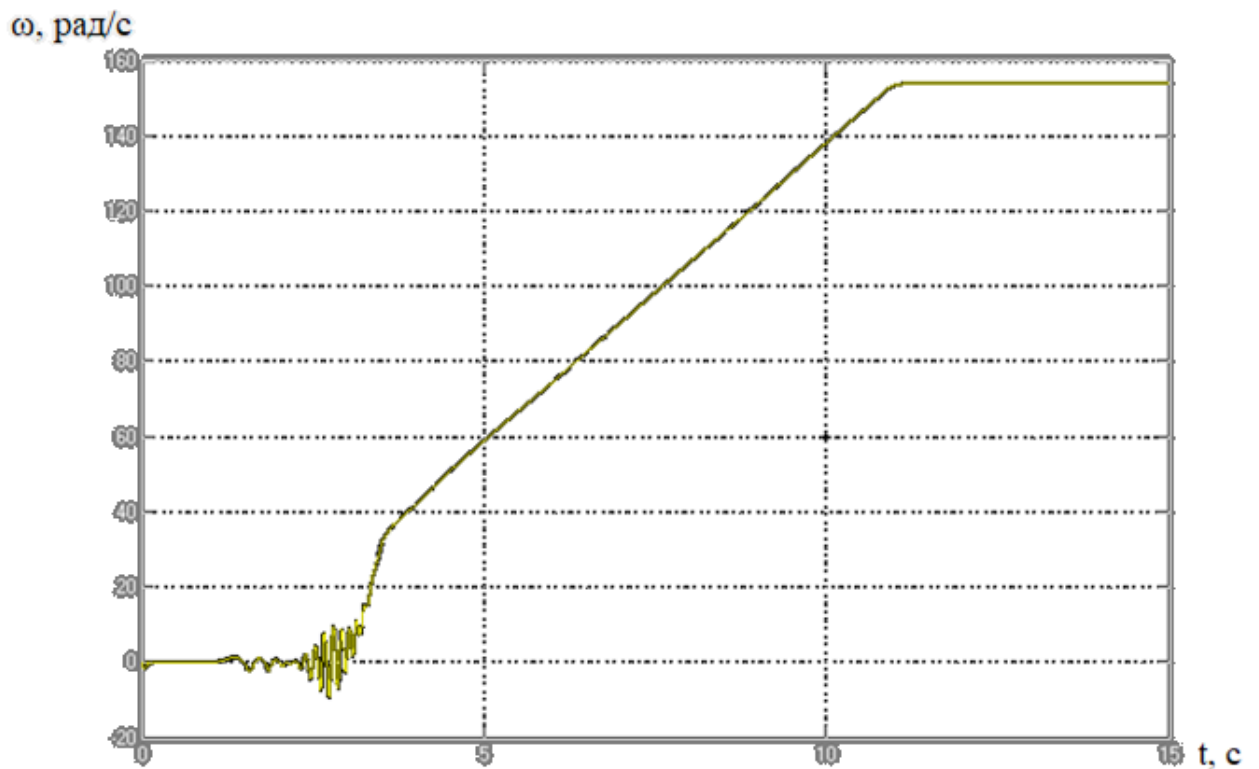


Рис. 39 – График переходных процессов $\omega = f(t)$ при частоте 50 Гц и $k_{\text{CM}}=0,25$ о.е.

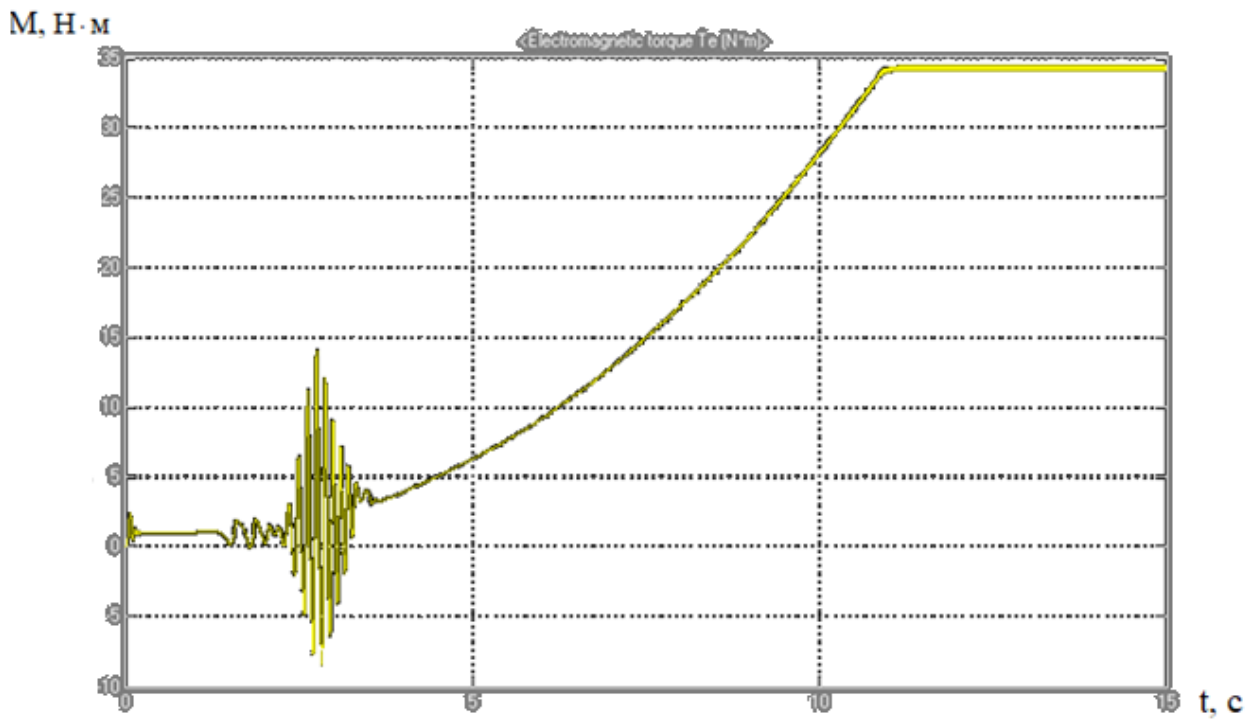


Рис. 40 – График переходных процессов $M = f(t)$ при частоте 50 Гц и $k_{\text{KM}}=0,25$ о.е.

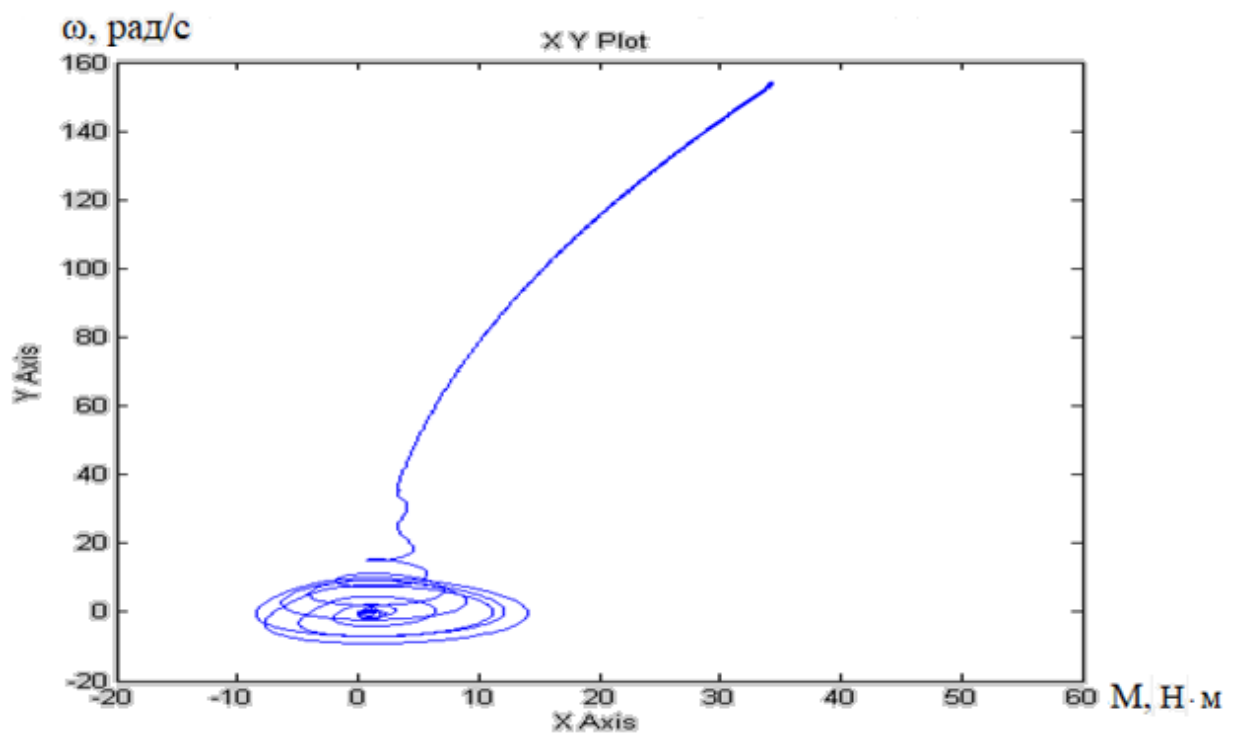


Рис. 41 – Динамические характеристики при частоте 50 Гц и $k_{\text{KM}}=0,25$ о.е. .

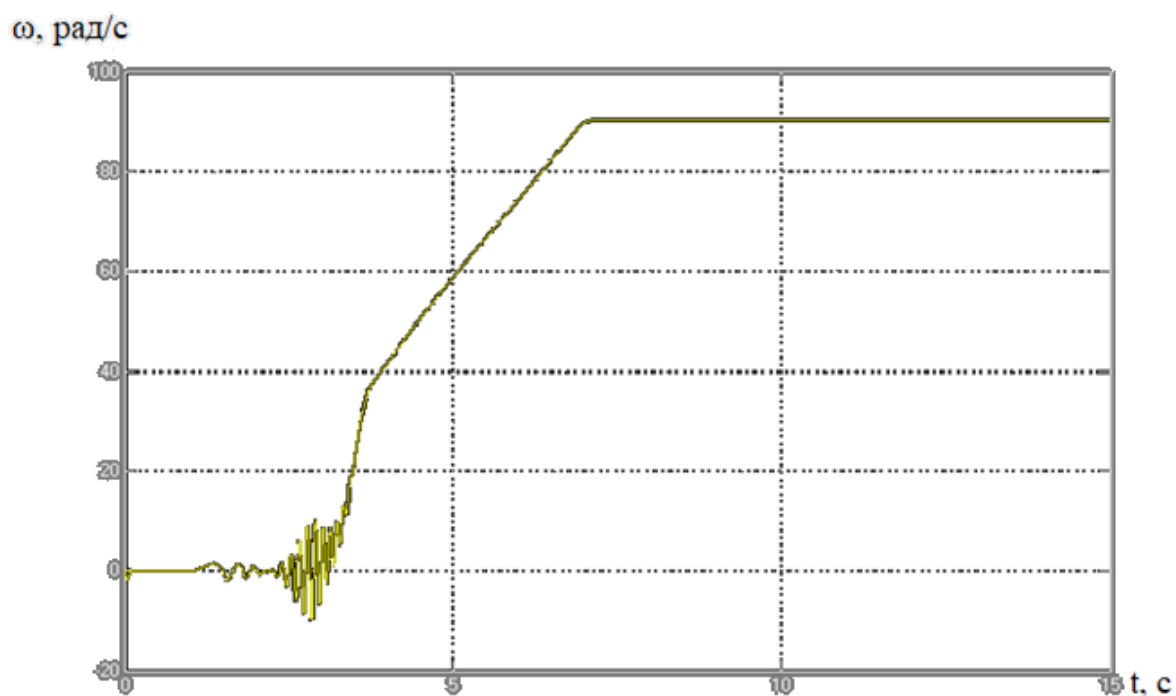


Рис. 42 – График переходных процессов $\omega = f(t)$ при частоте 30 Гц и $k_{\text{KM}}=0,1$ о.е.

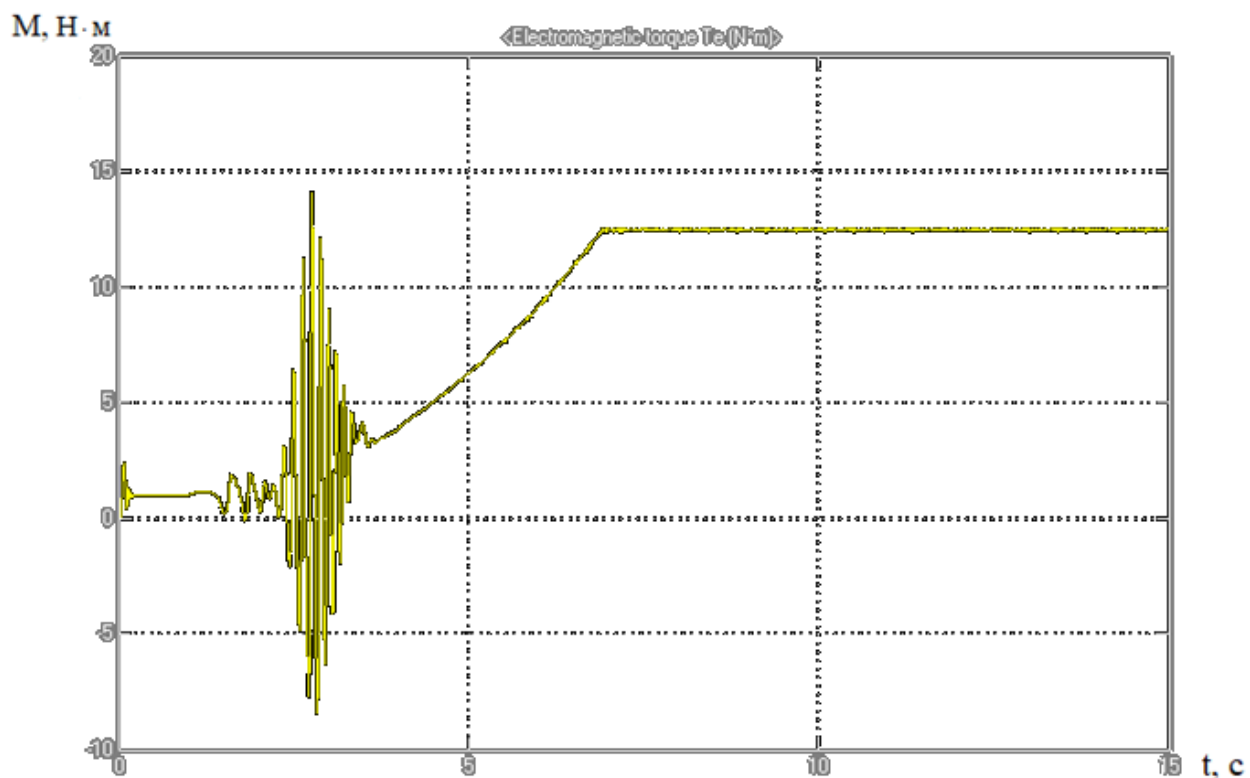


Рис. 43 – График переходных процессов $M = f(t)$ при частоте 30 Гц и $k_{\text{KM}}=0,1$ о.е.

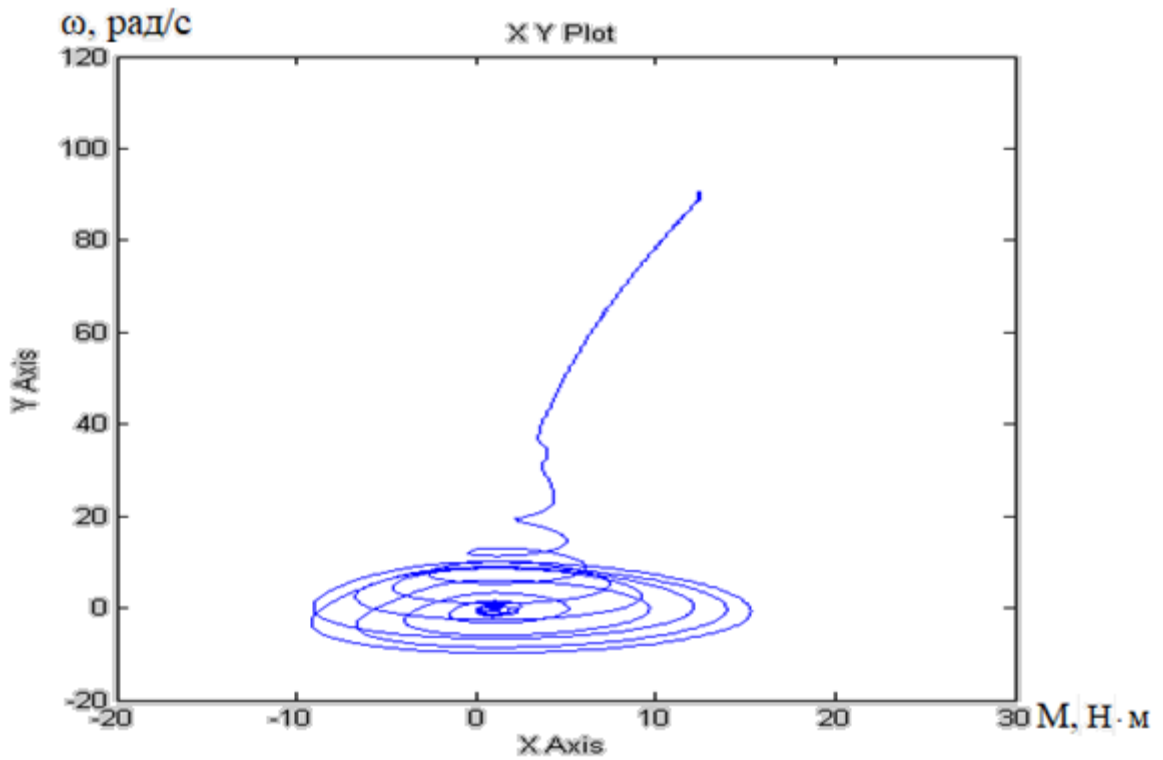


Рис. 44 – Динамические характеристики при частоте 30 Гц и $k_{\text{KM}}=0,1$ о.е.

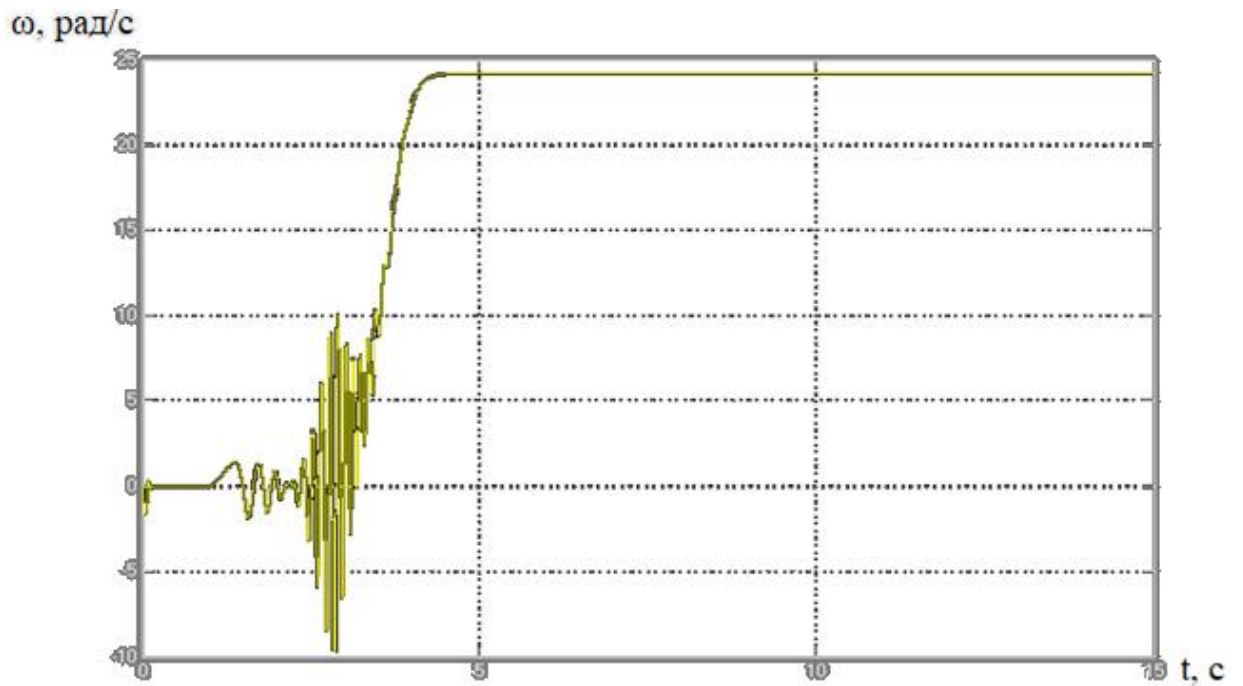


Рис. 45 – График переходных процессов $\omega = f(t)$ при частоте 10 Гц и $k_{\text{KM}}=0,1$ о.е.

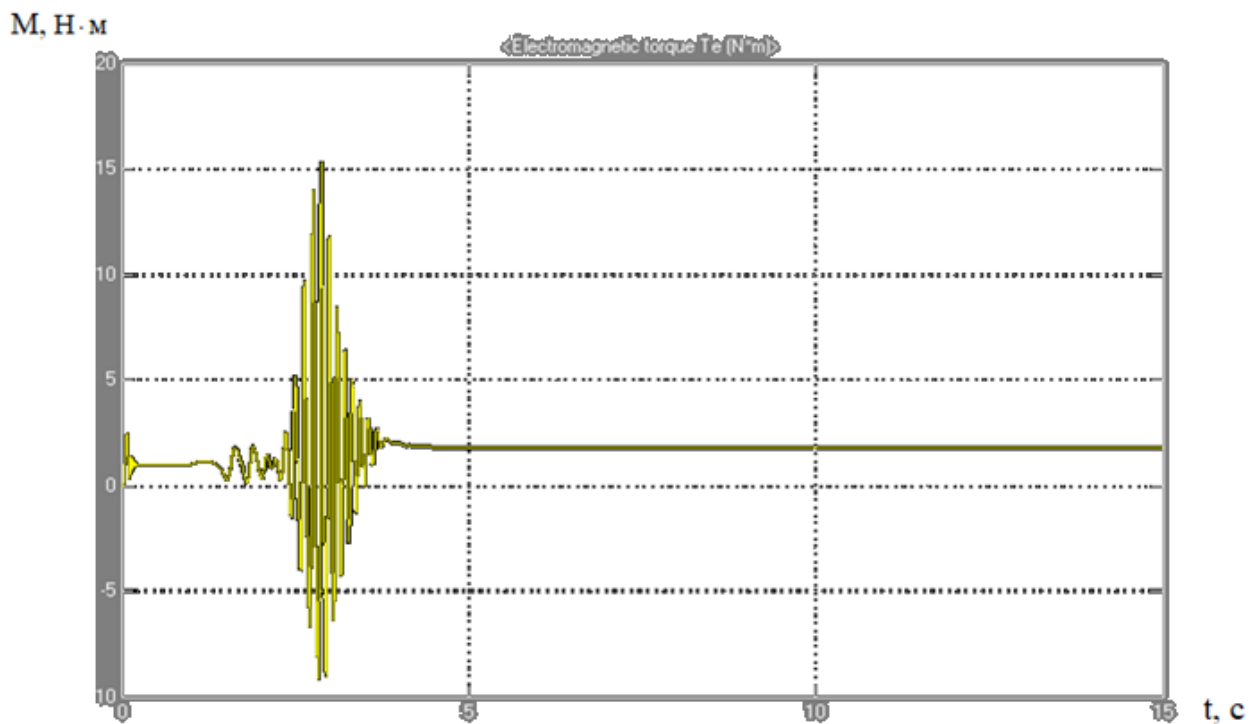


Рис. 46 – График переходных процессов $M = f(t)$ при частоте 10 Гц и $k_{\text{KM}}=0,1$ о.е.

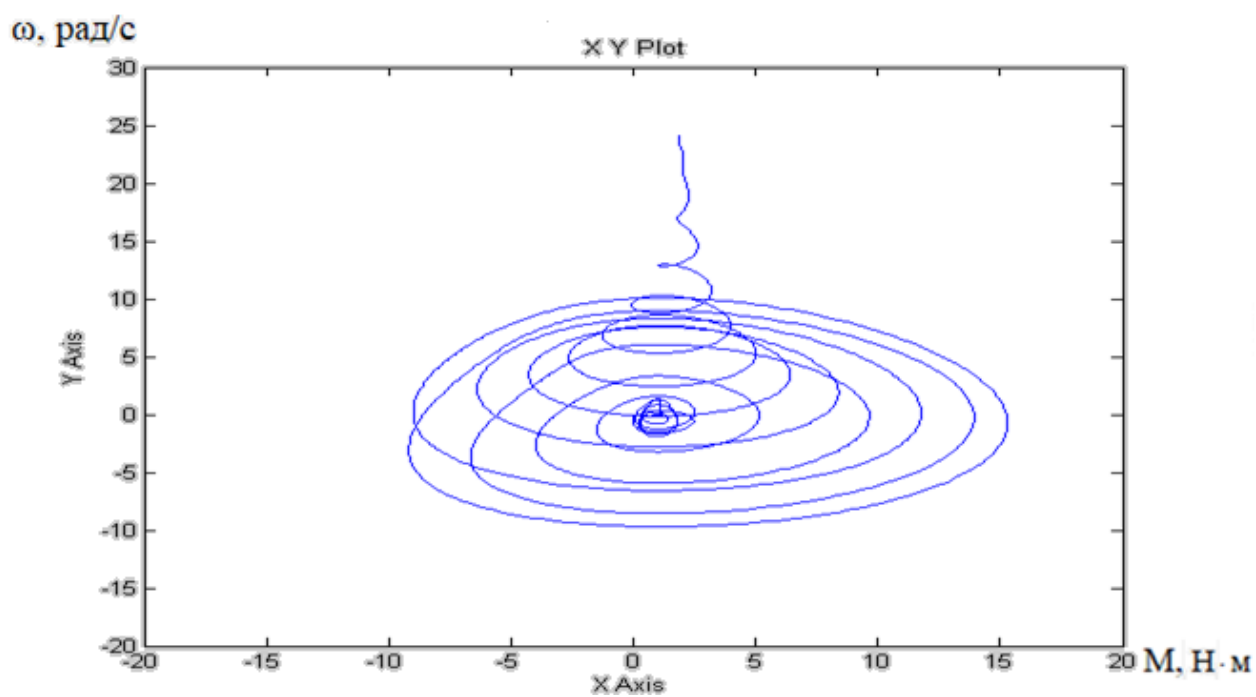


Рис. 47 – Динамические характеристики при частоте 10 Гц. и $k_{\text{KM}}=0,1$ о.е.

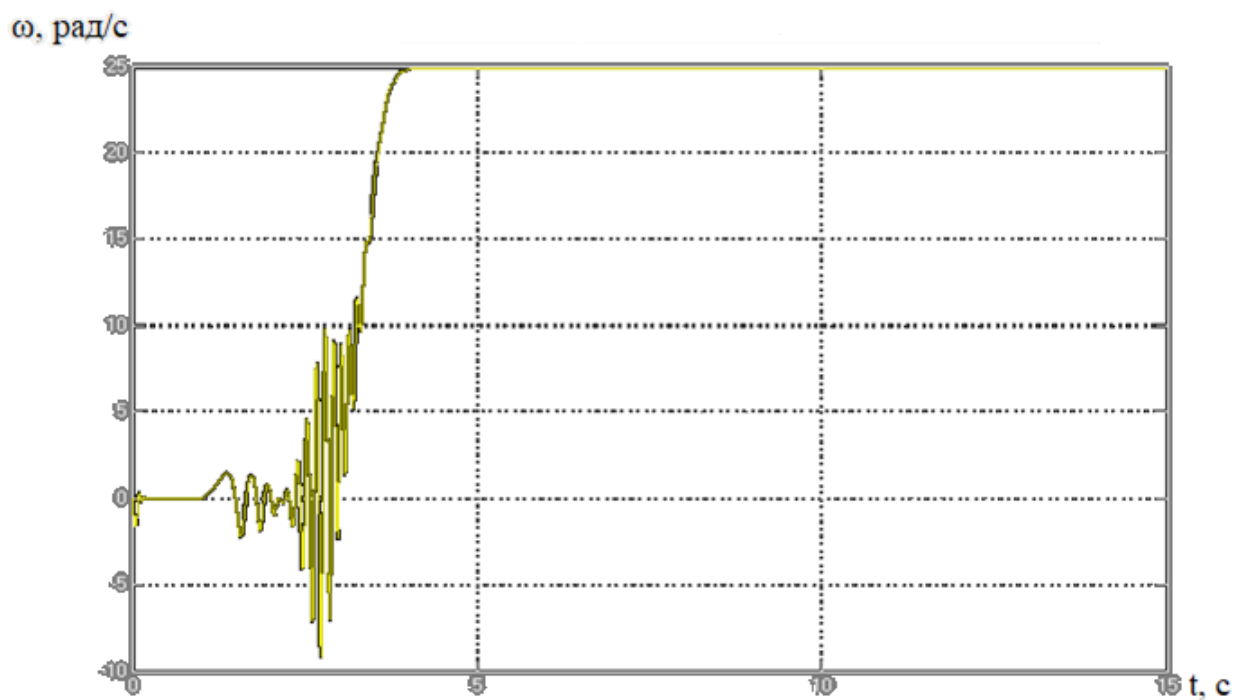


Рис. 48 – График переходных процессов $\omega = f(t)$ при частоте 10 Гц и $k_{\text{KM}}=0,25$ о.е.

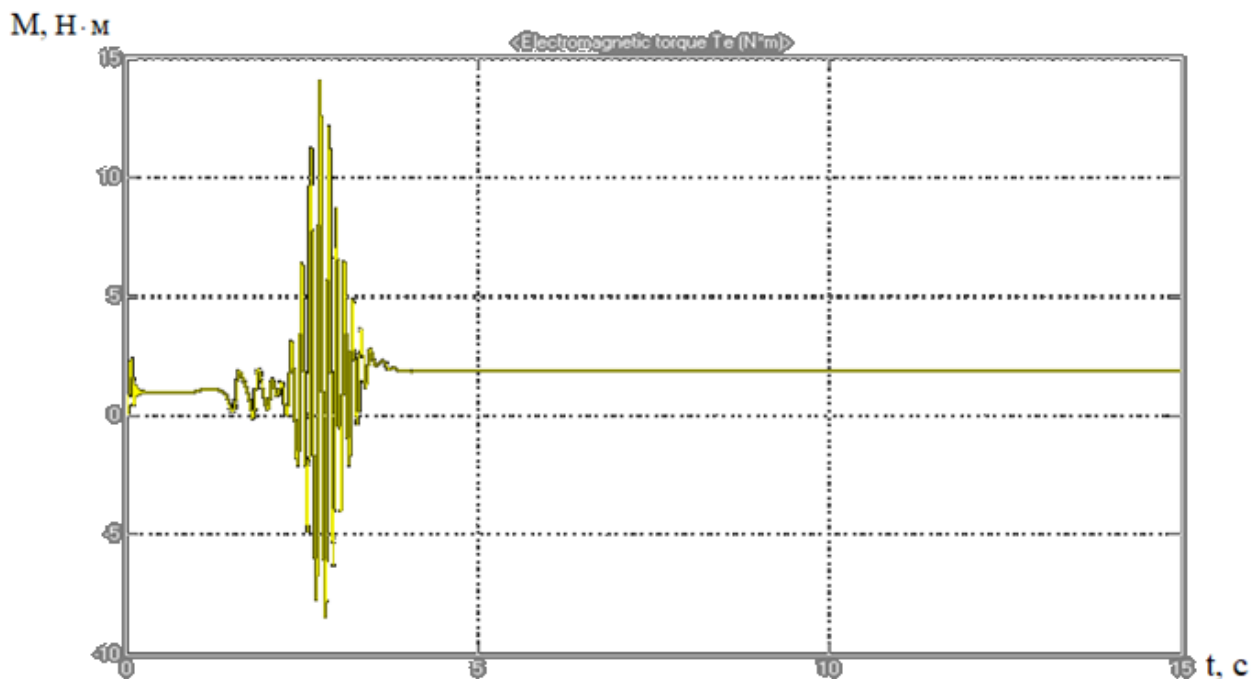


Рис. 49 – График переходных процессов $M = f(t)$ при частоте 10 Гц и $k_{\text{KM}}=0,25$ о.е.

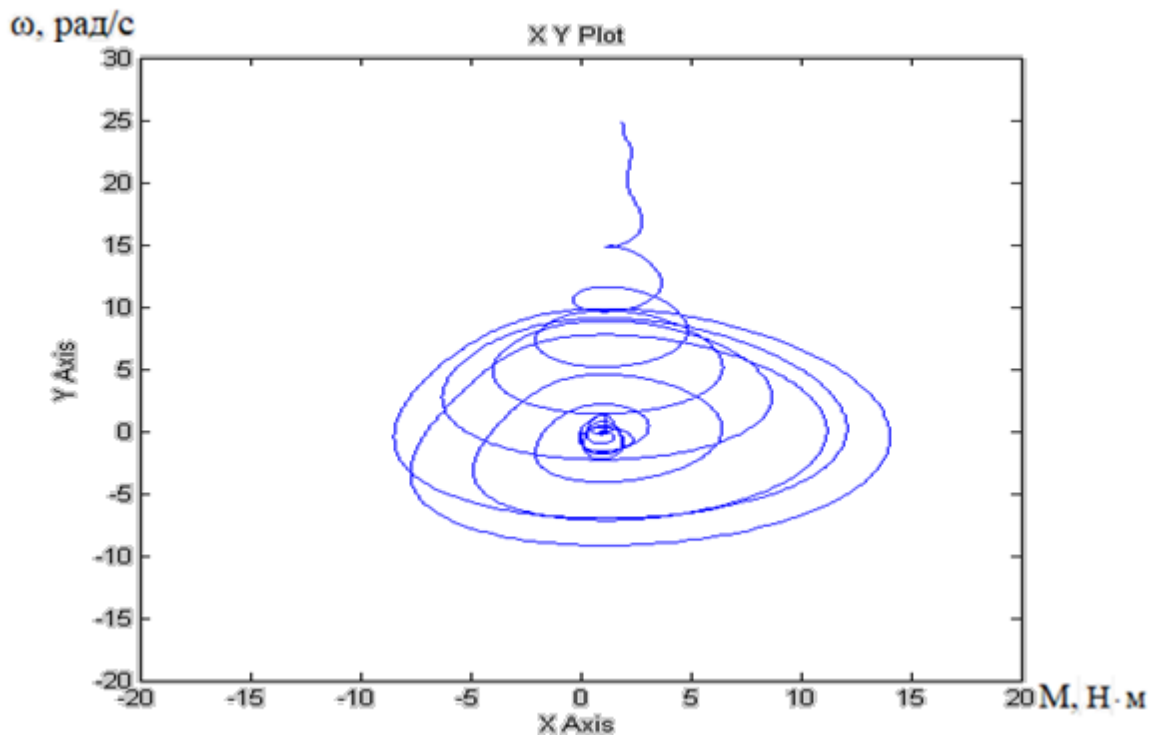


Рис. 50 – Динамические характеристики при частоте 10 Гц и $k_{кМ}=0,25$ о.е.

При частоте 50 Гц. и $k_{кМ}=0,1$ о.е. время переходного процесса $t_{п.п.} = 11$ с.

При частоте 50 Гц. и $k_{кМ}=0,25$ о.е. время переходного процесса $t_{п.п.} = 11,3$ с.

При частоте 30 Гц. и $k_{кМ}=0,1$ о.е. время переходного процесса $t_{п.п.} = 2,1$ с.

При частоте 10 Гц. и $k_{кМ}=0,1$ о.е. время переходного процесса $t_{п.п.} = 4$ с.

При частоте 10 Гц. и $k_{кМ}=0,25$ о.е. время переходного процесса $t_{п.п.} = 2,2$ с.

Т.е. при увеличении коэффициента $k_{кМ}$ увеличивается время переходного процесса. Так же при увеличении $k_{кМ}$ увеличиваются колебания момента, что видно на графиках переходных процессов $M = f(t)$.

6. Регулирование в автоматическом режиме частоты вращения

Рассмотрена модель системы управления вентиляционной установкой стояночного бокса. Поставлены основные задачи и требования, предъявляемые к системам вентиляции. Разработаны структура и алгоритм работы системы управления. Ключевые слова: электрический привод, нечеткая логика, приточно-вытяжная вентиляция.

Современная система вентиляции должна не только поддерживать санитарные нормы, предъявляемые государственными нормативными документами и создавать комфортные условия, но и технически справляться с критическими и аварийными ситуациями, возникающими в ходе технологических процессов.

Основная сложность в создании и реализации такой системы заключается в многочисленности факторов, влияющих на микроклимат технологической зоны и безопасность. Особенно, когда изменение одного фактора приводит к изменению другого, либо изменение факторов, не связанных между собой, но которое может привести к возникновению опасных ситуаций, из-за чего возникает необходимость в изменении режима работы системы посредством исполнительных механизмов.

Основным исполнительным механизмом в системе вентиляции, работа которого непосредственно влияет на состояние системы в целом, является электропривод приточных и вытяжных вентиляторов. Регулирование, которого позволяет не только поддерживать нормальные условия состояния микроклимата в технологической зоне, но и предотвращать или устранять опасные условия состояния внутрипроизводственной атмосферы.

Основными факторами, которые влияют на состояние микроклимата технологических помещений, являются температура (t°), влажность воздуха (ϕ), скорость движения подаваемой воздушной массы (v), концентрация вредных примесей в воздухе рабочих зон (K), а также давление (P),

искусственно создаваемое в результате работы приточных и вытяжных вентиляторов. Если изменение температуры и влажности воздуха в основном протекает постепенно и без резких колебаний, что подразумевает под собой спокойный режим работы системы, то изменения содержания вредных примесей в воздухе рабочей зоны и их предельно-допустимой концентрации (ПДК) спрогнозировать не представляется возможным. Тогда к работе системы возникает требование минимизации времени регулирования переходного процесса, так как ПДК зависит не только от ведения технологических процессов, предусматривающих выбросы вредных веществ (ВВ) в воздух рабочей зоны и от проводимых ремонтных работ, но и от возможных аварийных ситуаций на производстве.

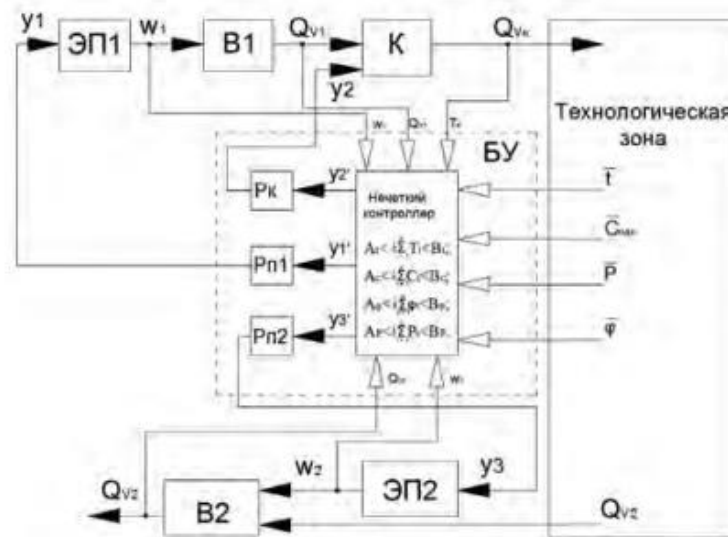


Рис. 51 - Структурная схема управления системой вентиляции

При изменении факторов микроклимата необходимо учитывать их соотношение с нормально-допустимыми значениями и скорости их изменения.

Следует отметить, что области допустимых значений параметров состояния воздуха технологической зоны (стояночного бокса), могут не совпадать друг с другом во времени. Когда значение параметров выходят за оптимальные или допустимые пределы, возникает задача оценки текущего состояния и управления системой.

Задача управления заключается в обеспечении нормальных условий пребывания в рабочей зоне, удовлетворяющих государственные стандарты (ГОСТ) и санитарные правила и нормы (СанПиН), при минимизации затрат электроэнергии системы «электропривод-вентилятор-калориферная установка».

Особенность задач заключается в том, что условия определяются вектором параметров размерностью $m \times n$, где: m - типы параметров; n - точки измерения.

На рис. 51 можно выделить отдельные области множества значений, определяющих качество состояния рабочей зоны, границы которых размыты, что требует, для построения системы управления объектом, применения основ теории нечетких множеств. Для различных зон необходимы различные законы регулирования.

На структурной схеме представлен блок управления (БУ), состоящий из нечеткого контроллера (НК) и регуляторов: P_k - регулятор калориферной установки (К); $P_{п1}$ и $P_{п2}$ - регуляторы электроприводов приточного (ЭП₁) и вытяжного вентилятора (ЭП₂). На входы БУ поступает информация о текущем состоянии объекта управления системы вентиляции и микроклимата технологической зоны. Параметры воздуха рабочей зоны, где t° - температура, $C_{пдк}$ - предельно-допустимая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны, P - создаваемой давление и ϕ - относительная влажность воздуха, представлены в виде областей допустимых значений.

Анализируя значения параметров, мы выводим функции принадлежности для каждой области и их весовое значение. Для этого в блоке управления используется контроллер на базе нечеткой логики.

В блоке нечеткого контроллера числовые значения параметров переводятся в лингвистические переменные. Путем фазификации -

преобразованием множества значений аргумента в некоторую функцию принадлежности, создается база правил. Далее кооперируя нечеткие логические выводы, формируется база законов регулирования и в зависимости от функции принадлежности выбираются нужные законы управления, которые реализуются с помощью регуляторов. Регуляторы вырабатывают сигналы задания на исполнительные механизмы, тем самым переводя их на требуемый режим работы.

При построении базы для каждого закона регулирования в зависимости от изменяемого параметра, параметрам необходимо присваивать свой весовой коэффициент, который позволит определить наиболее значимый режим работы в зависимости от условий изменения факторов. Как пример можно рассмотреть совпавшее по времени отрицательное изменение температур от оптимальных и положительное изменение ПДК ВВ в воздухе рабочей зоны от минимального содержания. В таком случае закон регулирования зависимый от ПДК ВВ примет весовую характеристику большую, чем закон, связанный с изменением температуры. Данное условие позволяет первоначально выполнить задачу, поставленную перед блоком управления, пренебрегая в определенное время одним фактором, но вывести в нормальное состояние другой фактор, определенный как более важный или опасный. Если понижение температуры в рабочей зоне несет менее опасный характер, то повышение содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны, может представлять опасность не только для жизни человека, но и для производственного комплекса в целом.

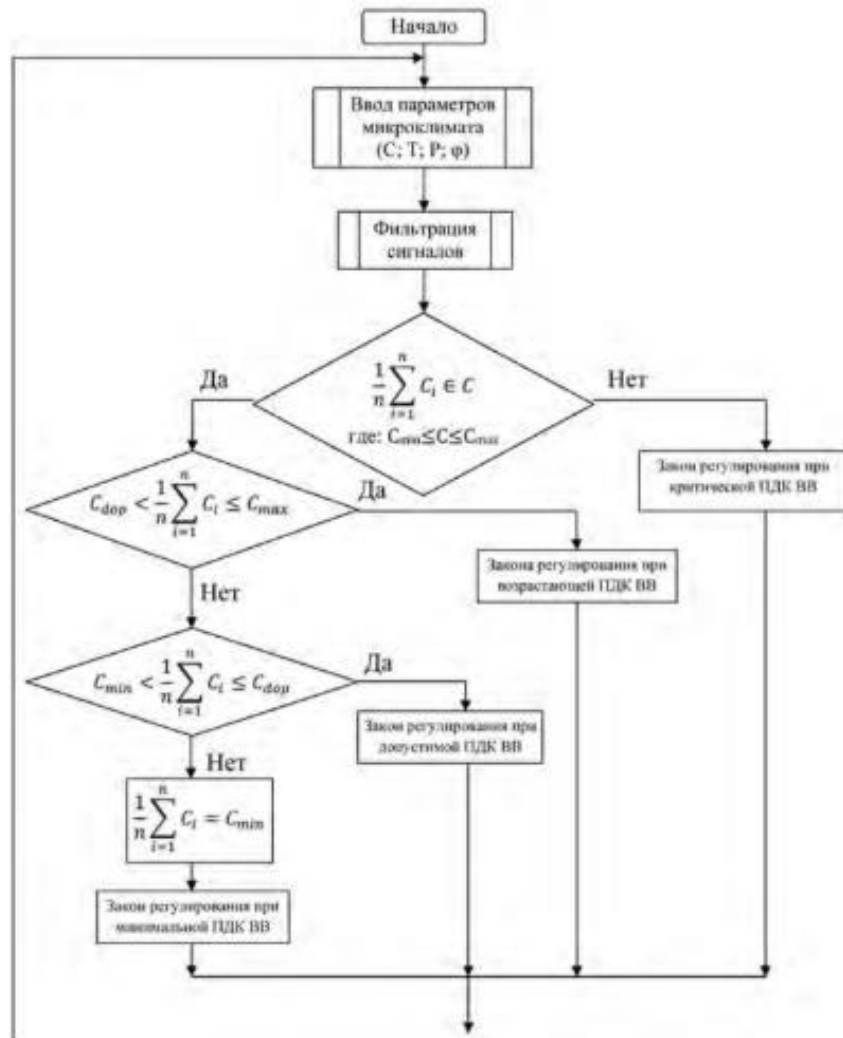


Рис. 52 - Программный алгоритм работы блока управления

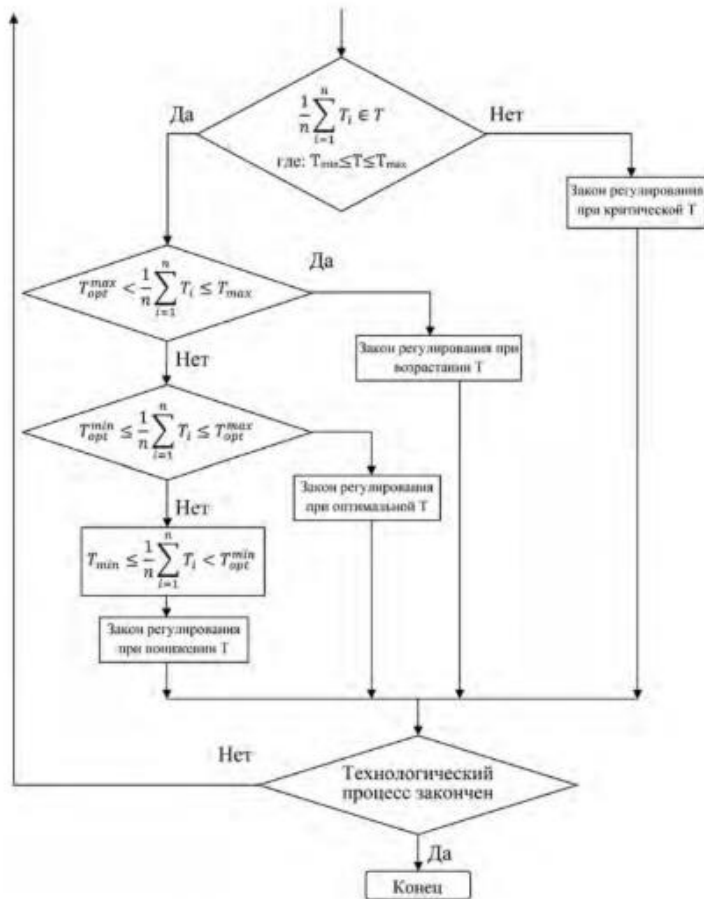


Рис. 53 - Программный алгоритм работы блока управления

На рисунке 54 представлена схема имитационной модели асинхронного электропривода, собранная в среде *MATLAB Simulink*. Данная схема позволяет осуществлять моделирование перехода с одной скорости на другую. Графики данных процессов представлены на рисунках 54-56.

Continuous
powergui

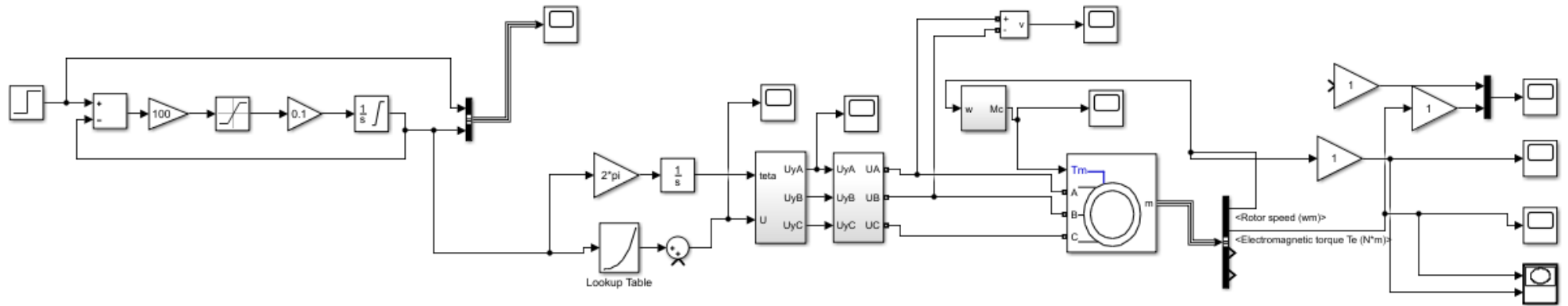


Рис. 54 – Имитационная модель для осуществления моделирования перехода с одной скорости на другую

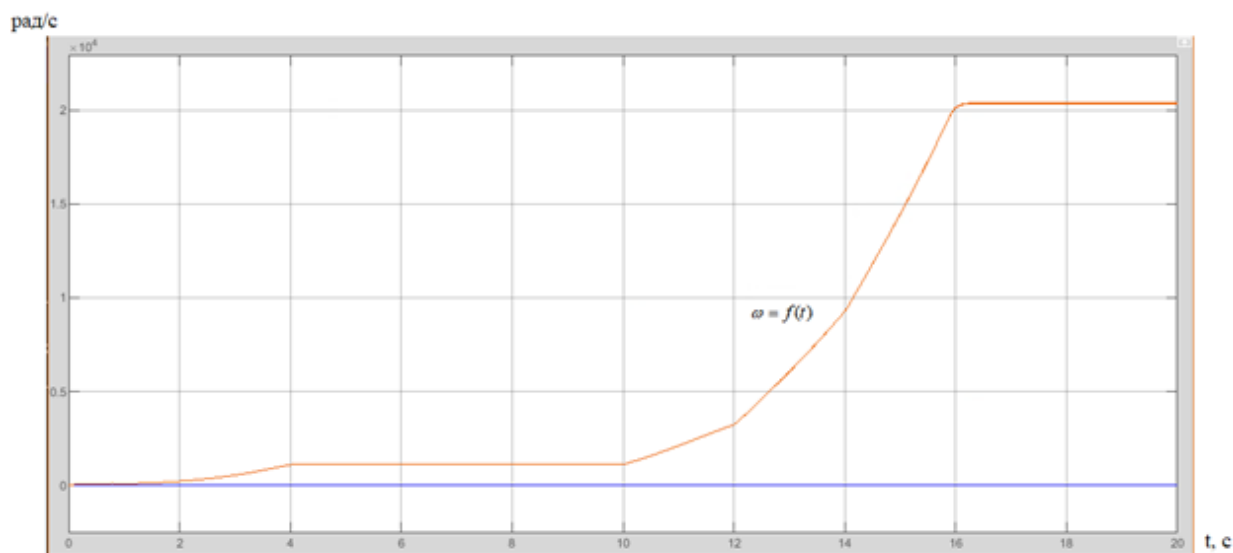


Рис. 55 – Общий вид графика перехода с меньшей скорости на большую

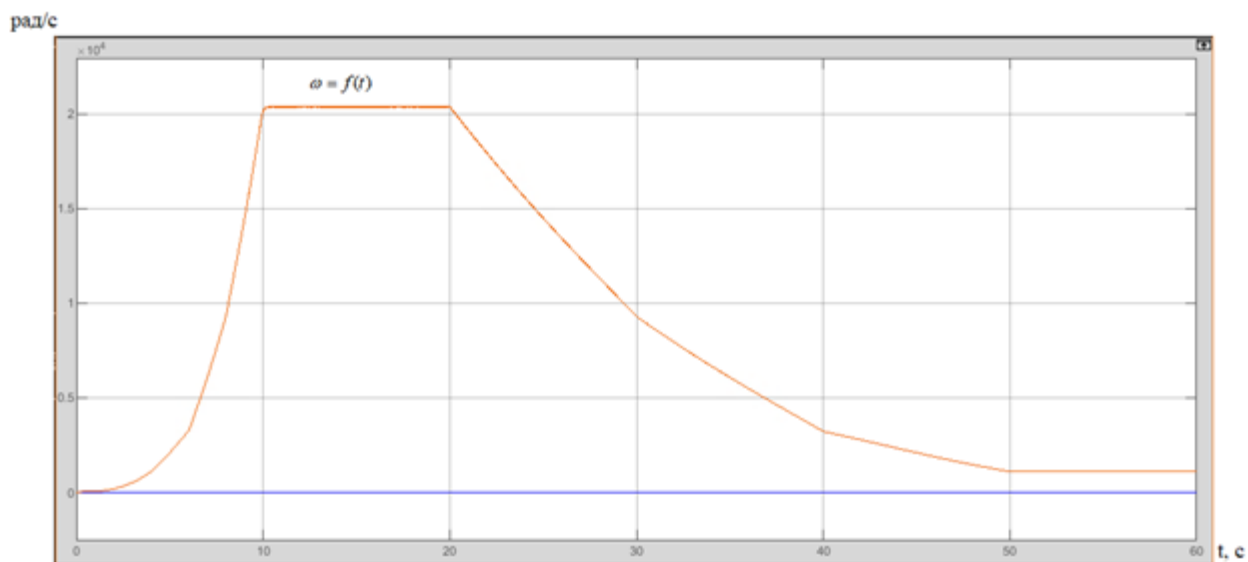


Рис. 56 – Общий вид графика перехода с большей скорости на меньшую

Приведенные на рисунках 55 и 56 характеристики показывают адекватность работы модели асинхронного двигателя.

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

7.1. Предпроектный анализ

Выпускная квалификационная работа посвящена проектированию асинхронного электропривода вентиляционной установки стояночного бокса, а также исследованию режимов работы.

Целью написания данного раздела работы является расчёт экономической эффективности результатов проектирования асинхронного электропривода вентиляционной установки стояночного бокса.

Задачи раздела: сегментирование рынка, оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ; разработка устава научно-технического проекта; планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок; определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности; оценка конкурентоспособности технических решений.

Область возможного применения: Сфера автомобилестроения, жилищная сфера.

7.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, **сегмент рынка** – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Карта сегментирования рынка двигателей приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Карта сегментирования рынка двигателей

	Электропривода постоянного тока с датчиками скорости	Асинхронные электропривода с датчиками скорости	Бездатчиковые асинхронные электропривода
Проектирование и производство			
Установка и пуско-наладка			
Обслуживание и ремонт			

Таблица 5 – Пояснение к таблице 4

ЗАО		ОАО		ОАО	
"Мосэлектромаш"		"Сибэлектромотор"		"Уралэлектро"	

7.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Данный анализ помогает методом сравнения оценить сильные и слабые стороны рассматриваемых асинхронных электроприводов вентиляционной установки стояночного бокса чтобы наиболее обосновано выбрать установку для дальнейшего проектирования. Наиболее часто один вариант не может обладать сразу всеми техническими и экономическими показателями в высшей степени, поэтому данный анализ позволяет выбрать тот вариант, который в целом обладает наивысшей конкурентоспособностью.

Для того чтоб провести оценку конкурентоспособности нужно рассмотреть три вида наиболее конкурентоспособных двигателей это:

- асинхронный электродвигатель (А);
- параметрический электродвигатель (П);
- особо параметрический (ОП).

Сравнение характеристик выбранных электродвигателей представлено в оценочной карте. Оценочная карта представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		А	П	ОП	А	П	ОП
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Мощность при 50 и 60 Гц	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
Номинальный ток	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
КПД	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
Наличие плавного пуска	0,1	3	3	5	0,3	0,3	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
Цена	0,2	5	4	4	1	0,8	0,8
Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	4	3	3	0,6	0,45	0,45
Послепродажное обслуживание	0,2	3	4	3	0,6	0,8	0,6

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Расчет конкурентоспособности по всем техническим критериям оценки:

$$K(A) = 0,75 + 0,3 + 0,4 + 0,3 + 1 + 0,6 + 0,6 = 3,95$$

$$K(П) = 0,75 + 0,4 + 0,4 + 0,3 + 0,8 + 0,45 + 0,8 = 3,9$$

$$K(ОП) = 0,75 + 0,5 + 0,3 + 0,5 + 0,8 + 0,45 + 0,6 = 3,9$$

В ходе результата анализа конкурентных технических решений можно сделать вывод, что наибольшим преимуществом обладают асинхронные электродвигатели, так как он выигрывает по цене и предполагаемому сроку эксплуатации.

7.1.3. FAST-анализ

FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

Проведение FAST-анализа предполагает шесть стадий:

1. Выбор объекта FAST-анализа;
2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом;
3. Определение значимости выполняемых функций объектом;
4. Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования;
5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ;
6. Оптимизация функций, выполняемых объектом.

Стадия 1. Выбор объекта FAST-анализа.

В рамках магистерской диссертации в качестве объекта FAST-анализа выступает асинхронный электропривод вентиляционной установки стояночного бокса.

Стадия 2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом.

Таблица 7 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Статор	1	Выполняет функцию корпусной детали для размещения рабочей обмотки	X		
Ротор	1	Создание электромагнитного момента, приводящего во вращение сам ротор и исполнительный механизм	X		
Вал	1	Передача крутящего момента от двигателя на механическую нагрузку		X	
Подшипник	2	Поддержка вращающегося вала			X
Вентилятор	1	Создание охлаждения двигателя			X
Коробка выводов	1	Подключение электропитания двигателя		X	

Стадия 3. Определение значимости выполняемых функций объектом.

Таблица 8 – Матрица смежности

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	Функция 6
Функция 1	=	=	>	>	>	>
Функция 2	=	=	>	>	>	>
Функция 3	<	<	=	>	>	<
Функция 4	<	<	<	=	<	<
Функция 5	<	<	<	>	=	<
Функция 6	<	<	>	>	>	=

Таблица 9 – Матрица количественных соотношений функций

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	Функция 6	ИТОГ О
Функция 1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	8
Функция 2	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	8
Функция 3	0,5	0,5	1	1,5	1,5	0,5	5,5
Функция 4	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	3,5
Функция 5	0,5	0,5	0,5	1,5	1	0,5	4,5

Продолжение таблицы 9

Функция 6	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	1	6,5
							Σ = 36

Стадия 4. Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования.

Таблица 10 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Норма расхода, кг	Трудоемкость детали, нормо-ч	Стоимость материала, руб.	Заработная плата, руб.	Себестоимость, руб.
Статор	1	Выполняет функцию корпусной детали для размещения рабочей обмотки	-	1,4	198,7	108,6	307,3
Ротор	1	Создание электромагнитного момента, приводящего во вращение сам ротор и исполнительный механизм	-	0,9	150,1	91,3	241,4
Вал	1	Передача крутящего момента от двигателя на механическую нагрузку	-	0,1	98,6	11,5	110,1

Подшипник	2	Поддержка вращающегося вала	-	0,08	20,7	8,6	29,3
Вентилятор	1	Создание охлаждения двигателя	11000	2,1	305,4	180,4	485,8
Коробка выводов	1	Подключение электропитания двигателя	-	0,04	12,4	4,4	16,8

Стадия 5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ.

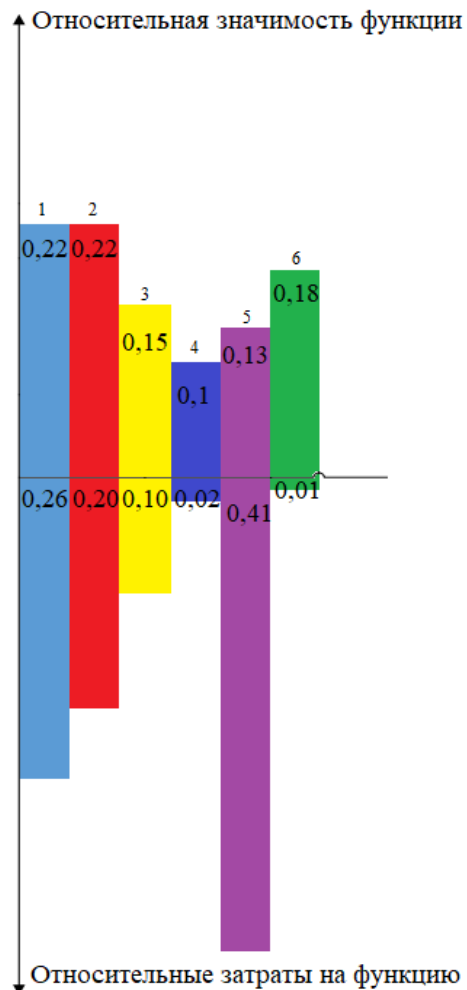


Рис. 57 – Функционально-стоимостная диаграмма

Построенная функционально-стоимостная диаграмма позволяет выявить диспропорции между важностью (полезностью) функций и затратами на них. Анализ приведенной выше ФСД показывает явное наличие рассогласования по функциям 1, 5. Необходимо провести работы по ликвидации данных диспропорций.

Стадия 6. Оптимизация функций выполняемых объектом.

Список мероприятий для снижения затрат на единицу полезного эффекта:

- применение принципиально новых конструкторских решений;
- оптимизация технических параметров;
- оптимизация параметров надежности;
- повышение ремонтпригодности;
- применение новых техпроцессов, заготовок, материалов и т.д.

7.1.4. Диаграмма Исикава

Диаграмма причины-следствия Исикавы – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Причинно-следственная диаграмма представлена на рисунке 58.

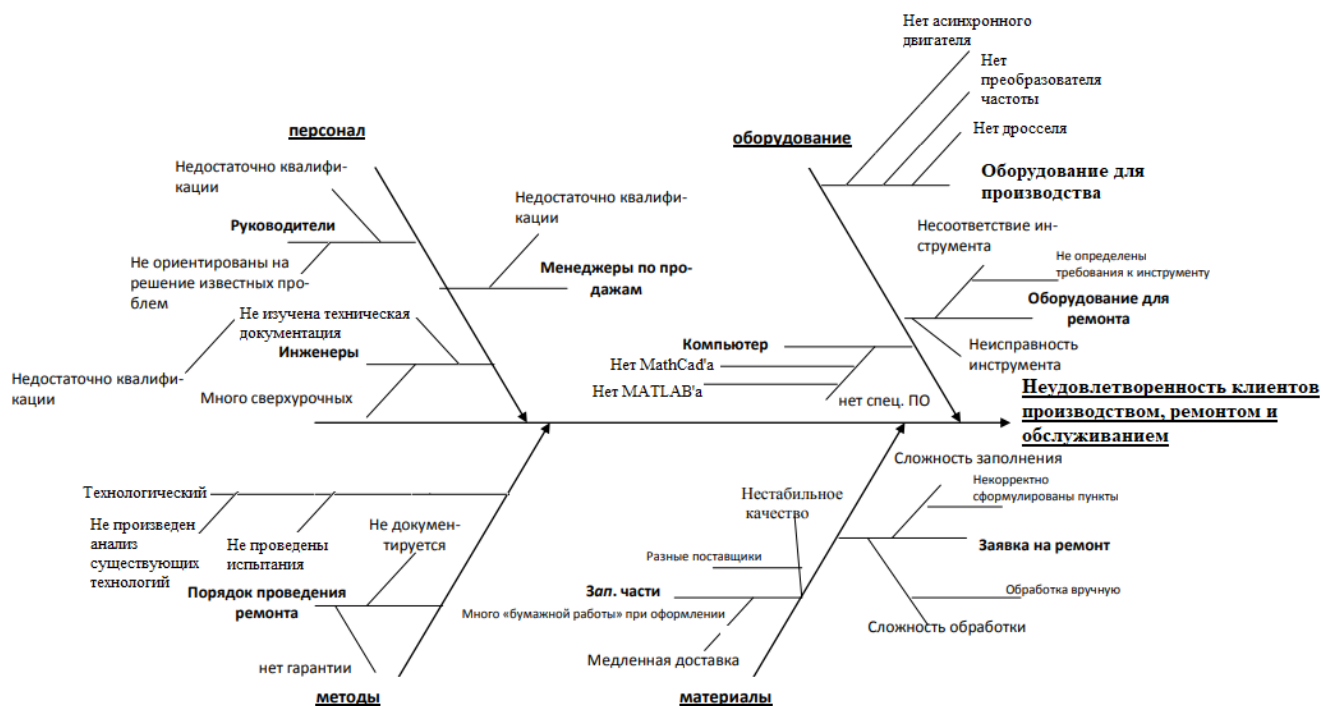


Рис. 58 – Причинно-следственная диаграмма

7.1.5. SWOT-анализ

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

Первый этап описывает сильные и слабые стороны проекта, находит возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Второй этап выявляет соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие помогает определить степень необходимости проведения стратегических изменений. В пределах данного этапа следует построить интерактивную матрицу проекта. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 11 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Высокая энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Повышение безопасности производства</p> <p>С3. Уменьшение затрат на ремонт оборудования</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Сложность ремонта некоторых частей оборудования</p> <p>Сл2. Дороговизна оборудования</p> <p>Сл3. Сложность эксплуатации электрооборудования</p> <p>Сл4. Отсутствие прототипа научной разработки</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Увеличение производительности электрооборудования</p> <p>В2. Появление дополнительной автоматизированной системы управления электрооборудованием</p> <p>В3. Улучшение технологии производства</p> <p>В4. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p>	<p>В1С1С2;</p> <p>В2С1С2;</p> <p>В3С1С2С3;</p> <p>В4С1С2С3;</p>	<p>В1Сл1Сл2Сл3Сл4;</p> <p>В2Сл1Сл2Сл3Сл4;</p> <p>В3Сл1Сл2Сл3Сл4;</p> <p>В4Сл1Сл2Сл3Сл4;</p>

Угрозы:		
У1. Отсутствие спроса	У1С1;	У1Сл2;
У2. Импорт отдельных частей для конструкций	У2С3;	У2Сл1Сл2Сл3;
У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции	У3С3;	У3Сл2;
У4. Угрозы выхода из строя оборудования	У4С1С2С3;	У4Сл1Сл2Сл3Сл4;

Таблица 12 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны – ВОЗМОЖНОСТИ»

	Сильные стороны проекта			
		С1	С2	С3
Возможности	В1	+	+	-
	В2	+	+	-
	В3	+	+	+
	В4	+	+	+

Таблица 13 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны – угрозы»

	Сильные стороны проекта			
		С1	С2	С3
Угрозы	У1	+	-	-
	У2	-	-	+
	У3	-	-	+
	У4	+	+	+

Таблица 14 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны
ВОЗМОЖНОСТИ»

		Слабые стороны проекта			
Возможности		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+
	B3	+	+	+	+
	B4	+	+	+	+

Таблица 15 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны – угрозы»

		Слабые стороны проекта			
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	-	-
	У2	+	+	+	-
	У3	-	+	-	-
	У4	+	+	+	+

В рамках **третьего этапа** должен быть подведен итог SWOT-анализа, в котором будут отражены стратегические планы на реализацию проекта и долгосрочное развитие. По результатам второго этапа выделим основные задачи:

- Внедрение автоматической системы сигнализации повреждения оборудования;
- Внедрение новых технологий обнаружения неисправностей;
- Внедрение нескольких источников поставки частей и материалов;
- Обеспечение подготовки квалифицированных кадров, и благоприятные условия труда для них.

В результате анализа было установлено, что технический проект имеет такие важные преимущества как высокая энергоэффективность, повышенная безопасность производства, которые обеспечивают высокую производительность и экономичность технологического процесса. Несмотря

на это, имеет место быть сложность ремонта отдельных частей оборудования, которая приводит к большим затратам на поставку этих частей с заводов, что в свою очередь сопровождается большими затратами в целом.

Главными факторами, влияющими на функциональную и бесперебойную работу оборудования, являются поставка материалов и обнаружение повреждений оборудования на начальных стадиях, когда замена частей агрегатов или ремонт не составляет значительных затрат.

7.1.6. Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого заполняется специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта (таблица 16).

Таблица 16 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	2	2
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4

4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1

13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
ИТОГО БАЛЛОВ		31	31

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

В результате проведенной оценки готовности проекта к коммерциализации можно сделать вывод, что на данный момент научная разработка имеет среднюю перспективность. Нужно провести работу над теми сферами проекта, которые еще не были затронуты, по возможности привлечь требуемых специалистов в команду проекта.

7.1.7. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (а это, как правило, владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других

научно-технических разработок и т.д.), одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

Для коммерциализации объекта исследования и обоснования его целесообразности, были выбраны следующие методы коммерциализации:

1. Инжиниринг как самостоятельный вид коммерческих операций предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.
2. Организация собственного предприятия.
3. Организация совместного предприятия, т.е. объединение двух и более лиц для организации предприятия.
4. Организация совместных предприятий, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».

Выбранные методы коммерциализации считаются наиболее перспективными, т.к. они позволят получить финансовые ресурсы для дальнейших исследований и разработок, могут позволить выйти на более широкий рынок предоставления услуг, а также могут стать источником постоянного притока финансовых ресурсов.

7.2. Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта,

которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

1. Цели и результат проекта. В данном разделе приведена информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Эта информация представлена в табличной форме (таблицы 17 и 18).

Таблица 17 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Предприятия по обслуживанию и ремонту автомобилей.	Получение эффективного оборудования для ассимиляции вредных веществ (оксиды углерода и оксиды азота) до нормируемых пределов.
Сфера автомобилестроения, жилищная сфера.	Получение эффективного оборудования для ассимиляции вредных веществ (оксиды углерода и оксиды азота)

Таблица 16 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Разработка асинхронного электропривода вентиляционной установки стояночного бокса, который будет эффективнее, экономичнее и выгоднее конкурентов
----------------------	--

Ожидаемые результаты проекта:	Получение асинхронного электропривода вентиляционной установки стояночного бокса, который будет эффективнее, экономичнее и выгоднее конкурентов
Критерии приёмки результата проекта:	Работоспособность разработки, ее эффективность, безопасность, экономичность
Требования к результату проекта:	Требование:
	Работоспособность
	Эффективность
	Безопасность
	Экономичность

2. Организационная структура проекта. На данном этапе работы решаются следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определяются роли каждого из участников и их трудозатраты в проекте. Эта информация представлена в табличной форме (таблица 18).

Таблица 18 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Чернышев И.А. ТПУ, доцент	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта	660

2	Спицына Л.Ю. ТПУ, доцент	Эксперт проекта	Отвечает за реализацию раздела «Финансовый менеджмент» в проекте	330
3	Фех А.И. ТПУ, старший преподаватель	Эксперт проекта	Отвечает за реализацию раздела «Социальная ответственность» в проекте	330
4	Чирков А.О. ТПУ, студент	Исполнитель по проекту	Специалист, выполняющий отдельные работы по проекту	3060
ИТОГО:				4380

3. Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта.

Таблица 19 – Ограничения проекта

Фактор		Ограничения/ допущения
a.	Бюджет проекта	Не более 5 млн.руб.
i.	Источник финансирования	Тендер
b.	Сроки проекта	1.09.2019-1.06.2020
i.	Дата утверждения плана управления проектом	18.10.2019
ii.	Дата завершения проекта	20.05.2020
c.	Прочие ограничения и допущения	-

7.3. Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнение

целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

7.3.1. Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 59 представлена иерархическая структура работ по проекту.

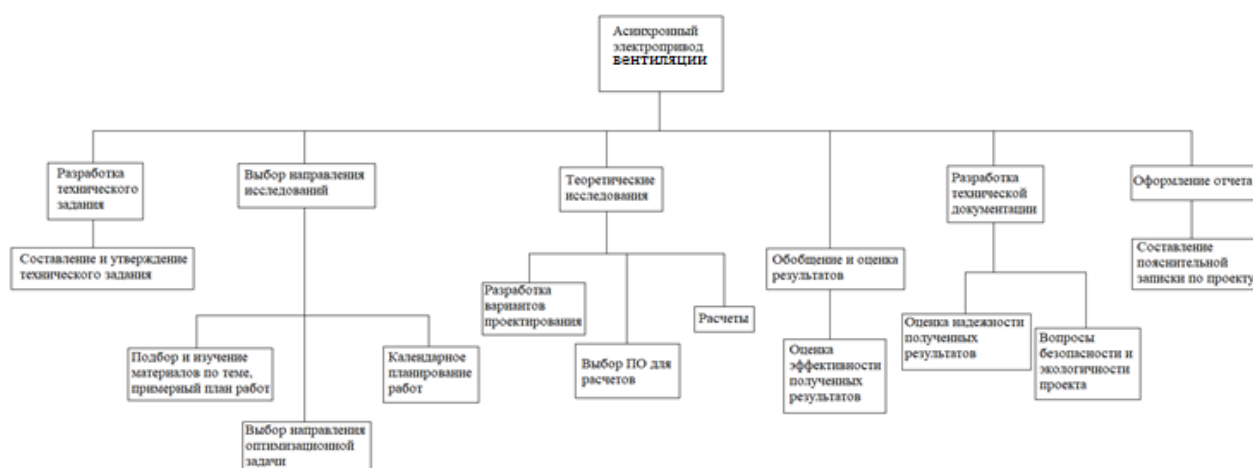


Рис. 59 – Иерархическая структура работ по проекту

7.3.2. Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Эта информация приведена в таблице 20.

Таблица 20 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат
1	Составление и утверждение технического задания	9.02.2020	Документ в формате Word
2	Подбор и изучение материалов по теме	12.02.2020	Различная документация

3	Описание объекта проектирования	18.02.2020	Документ в формате Word
4	Календарное планирование работ по теме	24.02.2020	Документ в формате Word
5	Расчет и выбор силового оборудования	29.02.2020	Документ в формате Word и Mathcad
6	Выбор преобразовательного устройства	10.03.2020	Документ в формате Word
7	Выбор аппаратуры управления и защиты	18.03.2020	Документ в формате Word
8	Расчет статических и динамических характеристик	26.03.2020	Документ в формате Word и Mathcad
9	Оценка эффективности полученных результатов	05.04.2020	Документ в формате Word
10	Составление пояснительной записки	08.04.2020	Документ в формате Word

7.3.3. План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

Линейный график представлен в виде таблицы 21.

Таблица 21 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
------------	----------	-------------------	-------------------	----------------------	-------------------

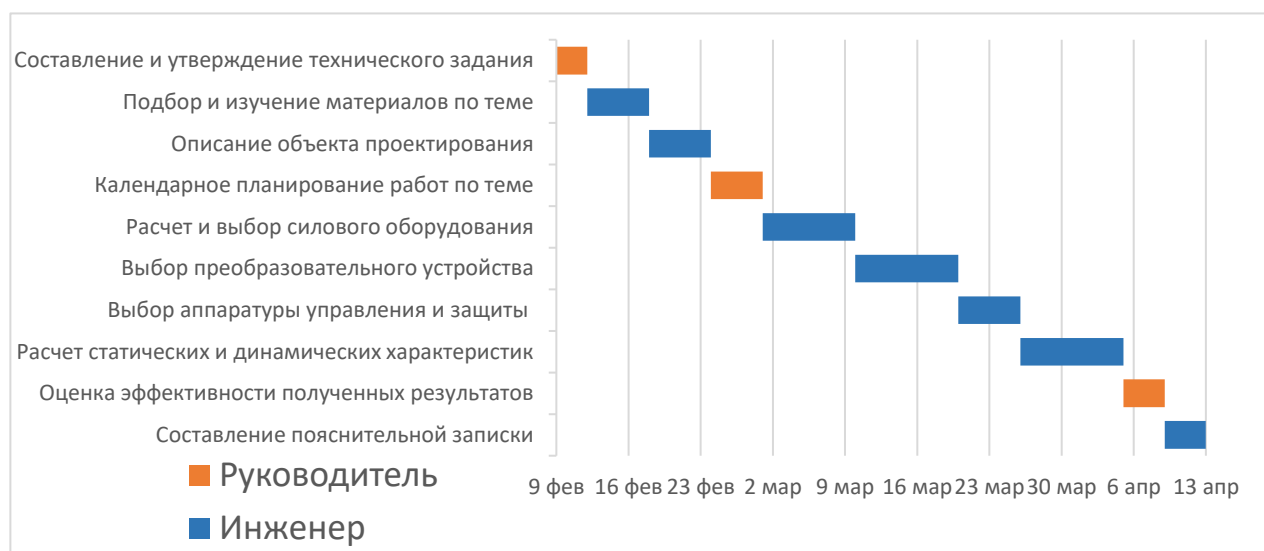
Продолжение таблицы 21

1	Составление и утверждение технического задания	3	09.02.20	12.02.20	Чернышев И.А.
2	Подбор и изучение материалов по теме	6	12.02.20	18.02.20	Чирков А.О.
3	Описание объекта проектирования	6	18.02.20	24.02.20	Чирков А.О.
4	Календарное планирование работ по теме	5	24.02.20	29.02.20	Чернышев И.А.
5	Расчет и выбор силового оборудования	10	29.02.20	10.03.20	Чирков А.О.
6	Выбор преобразовательного устройства	8	10.03.20	18.03.20	Чирков А.О.
7	Выбор аппаратуры управления и защиты	8	18.03.20	26.03.20	Чирков А.О.
8	Расчет статических и динамических характеристик	10	26.03.20	05.04.20	Чирков А.О.
9	Оценка эффективности полученных результатов	3	05.04.20	08.04.20	Чернышев И.А.

10	Составление пояснительной записки	5	08.04.20	13.04.20	Чирков А.О.
Итого:		64			

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 22 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме



7.3.4. Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Таблица 23 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Статьи						
	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
1.	1058	3542000	62475	9371,25	21554	15306,6	3651764,85

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включает транспортно-заготовительные расходы (3-5% от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Бумага для принтера	SvetoCopy, А4	1	250	250
Ручка	Pilot	1	65	65
Степлер	Attache	1	210	210
Скоросшиватель	Attache Economy А4	1	83	83
Распечатка	Лист А4	200	2	400
Всего за материалы				1 008
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				50
Итого по статье С _м				1 058

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 25 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1.	Асинхронный двигатель	1	430 000	494 500
2.	Преобразователь частоты	1	2 600 000	2 990 000
3.	Компьютер	1	40 000	46 000

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ. Величины расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

Расчет месячного должностного оклада работника производится по формуле:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p$$

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

k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3 (30% от Z_{mc});

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в научном исследовательском институте за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от Z_{mc});
 k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томской области).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m}{26}$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, рабочих дней;

В состав заработной платы входит основная заработная плата всех участников научного исследования, а также дополнительная заработная плата, которая составляет 12 – 20 % от основной заработной платы:

$$Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

Пример расчета для руководителя:

$$Z_m = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.},$$

$$Z_{дн} = \frac{33150}{26} = 1275 \text{ руб.},$$

$$Z_{осн} = 1275 \cdot 8 = 10200 \text{ руб.},$$

$$Z_{зн} = 10200 + 1530 = 11730$$

Таблица 26 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Z_{mc} , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1275	41	7841,25	52275
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1275	8	1530	10200
Итого									62475

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12% от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата – это оплата за непроработанное время.

Дополнительная заработная плата рассчитывается с помощью коэффициента $k_{\text{доп}}$ по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

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

Расчет:

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 10200 = 1530 \text{руб (для инженера),}$$

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot 52275 = 7841,25 \text{руб (для руководителя)}$$

Таблица 27 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	52275	10200
Дополнительная зарплата	7841,25	1530
Зарплата исполнителя	60116,25	11730
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	71846,25	

Отчисления на социальные нужды

Данная статья расходов включает в себя обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам во внебюджетные фонды. К внебюджетным фондам относятся: фонд

социального страхования (ФСС), пенсионный фонд (ПФ), федеральный фонд обязательного медицинского страхования (ФФОМС).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп})$$

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

Расчет:

$$Z_{внеб} = 0,3 \cdot (10200 + 1530) = 3519 \text{ руб (для инженера),}$$

$$Z_{внеб} = 0,3 \cdot (52275 + 7841,25) = 18035 \text{ руб (для руководителя)}$$

Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 – 90% от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала.

Накладные расходы составляют 80-100% от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Величина накладных расходов определяется с учетом коэффициента $k_{нр}$ по формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} = (Z_{м} + Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб} + A) \cdot k_{нр}$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (16%).

Расчет:

$$Z_{накл} = (610 + 62475 + 9371,25 + 21554 + 1655,7) \cdot 0,16 = 15306,6 \text{ руб.}$$

7.3.5. Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная.

Проектная организационная структура научного проекта приведена на рисунке 60.

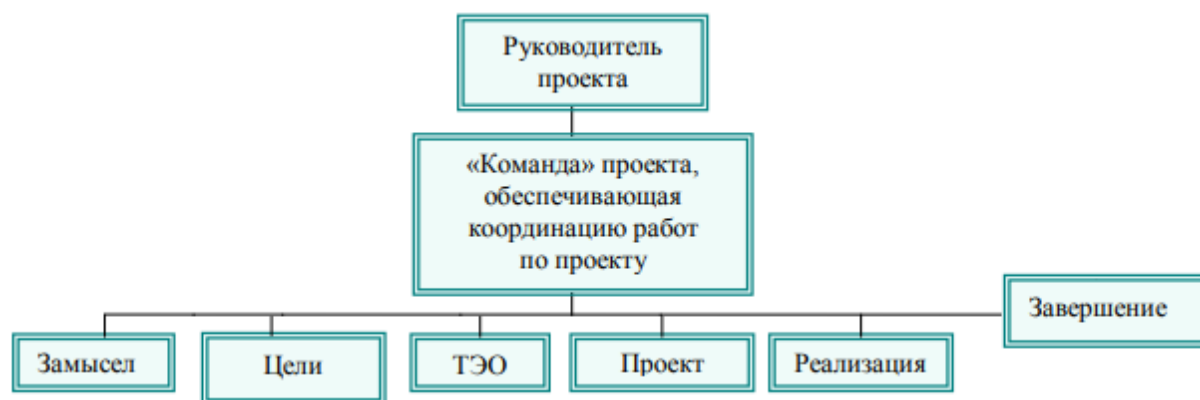


Рис. 60 – Проектная структура проекта

7.3.6. Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (таблица 28).

Таблица 28 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Ответственный	Исполнитель
Составление и утверждение технического задания	+	
Подбор и изучение материалов по теме		+
Описание объекта проектирования		+
Календарное планирование работ по теме	+	
Расчет и выбор силового оборудования		+

Выбор преобразовательного устройства		+
Выбор аппаратуры управления и защиты		+
Расчет статических и динамических характеристик		+
Оценка эффективности полученных результатов	+	
Составление пояснительной записки		+

7.3.7. Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информация по данному разделу приведена в таблице 29.

Таблица 29 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Требования	Прямое	2	5	Высокий	Проверка на соответствие во время разработки проекта	Проект не соответствует требованиям

2	Эффективность и надежность	Прямое	2	5	Высокий	Использование современного оборудования и современных технологий	Неправильное использование оборудования, некачественное оборудование
3	Качество	Прямое	2	5	Высокий	Использование современного оборудования	Плохое исполнение проекта, некачественное оборудование
4	Планирование	Прямое	1	3	Средний	Контроль планирования руководителем проекта	Неправильно спланированные действия по выполнению проекта

7.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную

эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты, и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывая финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проекты решения.

Бюджетная эффективность характеризуется участием государства в проекте с точки зрения расходов и доходов бюджетов всех уровней.

Кроме выше перечисленных видов эффективности можно выделить ресурсный эффект (характеризуется показателями, отражающими влияние инновации на объем производства и потребления того или иного вида ресурса), научно-технический (оценивается показателями новизны и полезности) и др.

7.4.1. Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (таблица 29). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} - стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{\max} - максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше 0).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p$$

где I_m - интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i - весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a , b_i^p - балльная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен в форме таблицы 30.

Таблица 30 – Сравнительная оценка характеристик вариантов
исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Асинхронный электродвигатель	Параметрический электродвигатель	Особо параметрический
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	3	3
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	2	3
3. Помехоустойчивость	0,15	5	3	3
4. Энергосбережение	0,20	4	3	2
5. Надежность	0,25	5	4	3
6. Материалоемкость	0,15	4	4	4
ИТОГО	1			1

$$I_{\text{асин.}} = 4 * 0,1 + 4 * 0,15 + 5 * 0,15 + 4 * 0,20 + 5 * 0,25 + 4 * 0,15 = 4,4$$

$$\text{Парам.} = 3 * 0,1 + 2 * 0,15 + 3 * 0,15 + 3 * 0,20 + 4 * 0,25 + 4 * 0,15 = 3,25$$

$$\text{Особо парам.} = 3 * 0,1 + 3 * 0,15 + 3 * 0,15 + 2 * 0,20 + 3 * 0,25 + 4 * 0,15 = 2,95$$

Интегральный показатель эффективности разработки

($I_{\text{финр}}^p$) и аналога ($I_{\text{финр}}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} \dots$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{mэ}^p}{I_{mэ}^a}$$

где \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта;

$I_{mэ}^p$ - интегральный показатель разработки;

$I_{mэ}^a$ - интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 31 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	2,05	2,2
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,25	4,4
3	Интегральный показатель эффективности	1,59	2
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,26	

Вывод по разделу

Исходя из критериев и параметров для асинхронного электропривода вентиляционной установки стоячного бокса было выбрано целесообразное с экономической и практической точки зрения оборудование, используемое в реализации проекта, в соответствии с необходимыми требованиями, для дальнейшей коммерциализации проекта. Длительность работ в календарных днях преподавателя составляет 11 дней, а инженера 53. Общая продолжительность выполнения проекта - 64 дня. Расчет бюджета затрат научно-исследовательского проекта составил 3651764,85 рублей. В результате расчет рисков дает общую оценку в 31. Эта цифра говорит, что проект имеет право на «жизнь», хотя и не лишен вероятных препятствий. Оценка отдельных групп риска (с наиболее высокими показателями) будет учтена на подготовительном этапе, для того чтобы по возможности снизить их отрицательное влияние на проект в целом.

8. Социальная ответственность

8.1. Введение

В разделе социальная ответственность рассматриваются: правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность, экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Данная магистерская работа посвящена исследованию режимов работы асинхронного электропривода вентиляционной установки стояночного бокса.

Безопасность жизнедеятельности представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально - экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Целью данного раздела является анализ вредных и опасных факторов труда работников стояночного бокса, разработка мер защиты от них, оценка условий труда и микроклимата рабочей среды. Кроме того, в разделе рассматриваются вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, даются рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

В последнее время этические проблемы техники все больше выходят на первый план в связи с повышением социальной ответственности ученого, инженера, проектировщика в современном обществе, потому что конечная цель техники - это служение людям, но без нанесения ущерба другим людям и природе. Техника не может более рассматриваться как ценностно нейтральная и должна отвечать не только технической функциональности, но и критериям экономичности, улучшения жизненного уровня, безопасности, здоровья людей, качества окружающей природной и социальной среды и т.п. В связи с этим активно обсуждается вопрос о том, что такое экологическая, компьютерная, хозяйственная этика и т.д. Инженер

обязан прислушиваться не только к голосу ученых и технических специалистов, к голосу собственной совести, но и к общественному мнению. Каждый раз, принимая какое-либо конкретное техническое решение, он несет за него и моральную ответственность, особенно если неверно принятое решение повлечет за собой негативные последствия. Даже сухие технические стандарты служат, в конечном счете, достижению безопасности и надежности производимой техники. Если инженер и проектировщик не предусмотрели наряду с ее экономичным и четким - с точки зрения технических требований - использованием также безопасного, бесшумного, удобного, экологичного и т.п. применения, из средства служения людям техника может стать враждебной человеку и даже подвергнуть опасности само существование человечества.

8.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Рабочее место – место, где работник должен находиться или куда ему необходимо прибыть в связи с его работой и которое прямо или косвенно находится под контролем работодателя.

Основным рабочим местом персонала является площадь вентиляционной камеры. Вентиляционная камера имеет следующие размеры:

- длина помещения – 9м,
- ширина помещения – 6м,
- высота помещения – 4м.

Постоянное рабочее место – место, на котором работник находится большую часть (более 50% или более 2 часов непрерывно) своего рабочего времени.

Рабочее помещение должно соответствовать количеству работающих и размещенному в них комплексу технических средств. Общие рабочие компоненты имеют искусственное освещение. Окраска помещений существенно влияет на нервную систему человека, его настроение. Поэтому, необходимо окрашивать помещение в соответствии с цветом

технических средств. Кроме этого выбор цвета определяется освещенностью помещения, чем выше отражение света стенами и оборудованием, тем выше освещенность.

Рабочая зона – пространство высотой до 2 м от уровня пола или площадки, на котором находятся места постоянного или временного пребывания работников.

В процессе работы человек вступает во взаимодействие с предметами труда, орудиями труда, другими людьми. Также на него воздействуют параметры окружающей среды рабочей обстановки. От условий труда зависит отношение человека к труду и, естественно, результаты труда. При плохих условиях труда резко снижается работоспособность, соответственно повышается процент профессиональных заболеваний и травм. Под условиями труда подразумевается совокупность факторов производственной среды, оказывающих влияние на здоровье и производительность труда человека в процессе труда.

Находясь на своем рабочем месте, т.е. в производственной среде, человек может подвергаться действию целого ряда опасных и (или) вредных производственных факторов, от действия которых он должен быть максимально защищен. В соответствии с ГОСТ 12.2.061-81 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам» рабочее оборудование, инструмент, приспособления должно полностью отвечать требованиям безопасности, окружающая производственная среда соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям и, кроме того, рабочее место должно быть организовано таким образом, чтобы человек при выполнении работы затрачивал минимальное количество энергии. Соблюдение этих условий будет способствовать постоянно высоко производительному безопасному труду. Правильная организация рабочего места подразумевает знание и выполнение эргономических требований, которые определяются существующими стандартами. Так ГОСТ 12.2.032-78. «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические

требования» определяет общие эргономические требования к рабочему месту при выполнении работ сидя, а ГОСТ 12.2.033-78. «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования» – при выполнении работ стоя.

Режим труда и отдыха – это устанавливаемые для каждого вида работ порядок чередования периодов работы и отдыха и их продолжительность.

Рациональный режим – это такое соотношение и содержание периодов работы и отдыха, при которых высокая производительность труда сочетается с высокой и устойчивой работоспособностью человека без признаков чрезмерного утомления в течение длительного времени. Один из основных вопросов установления рационального режима труда и отдыха – это выявление следующих принципов их разработки:

- Удовлетворение потребностей производства. Режим труда и отдыха строится применительно к наиболее рациональному производственному режиму, с тем, чтобы обеспечить нормальное исполнение работником своих обязанностей;
- Обеспечение наибольшей работоспособности человека. Нельзя строить режим труда и отдыха без учета работоспособности человека и объективной необходимости организма в отдыхе;
- Сочетание общественных и личных интересов. Режим труда и отдыха должен быть ориентирован в некоторой степени на удовлетворение личных интересов трудящихся и отдельных категорий работников (женщин, детей, учащихся и т. д.).

Научно обоснованным режимом труда и отдыха считается такой режим, который одновременно сочетает сохранение и повышение работоспособности и производительности труда с сохранением здоровья работников и созданием благоприятных условий для всестороннего развития человека.

Здоровье человека напрямую связано с его работоспособностью и утомляемостью, а от состояния здоровья во многом зависит успешность

трудовой деятельности работника. Утрачивание резервных возможностей, сопротивляемости организма к внешним и внутренним негативным факторам ведут к существенному снижению эффективности профессиональной трудовой деятельности.

8.3. Производственная безопасность

Таблица 32 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.1 005-88 СанПиН 2.2.4.548-96
Превышение уровня шума	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-83 ГОСТ 12.1.012-90
Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	СНиП 23-05-95
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека		+	+	ГОСТ 12.1.038–88 ССБТ

8.4. Анализ опасных и вредных факторов труда

8.4.1. Микроклимат

Микроклимат производственных помещений – это комплекс физических факторов, оказывающих влияние на теплообмен человека и

определяющих самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда. Поддержание микроклимата рабочего места в пределах гигиенических норм – важнейшая задача.

Параметры микроклимата оказывают непосредственное влияние на самочувствие человека и его работоспособность. Например, понижение температуры и повышение скорости воздуха способствует усилению конвективного теплообмена и процесса теплоотдачи при испарении пота, что может привести к переохлаждению организма.

При повышении температуры возникают обратные явления. Установлено, что при температуре воздуха более 30 град. работоспособность человека начинает падать.

Переносимость человеком температуры, как и его теплоощущение в значительной мере зависит от влажности и скорости движения воздуха. Чем больше относительная влажность, тем меньше испаряется пота в единицу времени и тем быстрее наступает перегрев организма. Особенно неблагоприятное воздействие на тепловое самочувствие человека оказывает высокая влажность при температуре более 30 град., т.к. при этом почти вся выделяемая теплота отдается в окружающую среду при испарении пота. При повышении влажности (более 80%) пот не испаряется, а стекает каплями с поверхности кожного покрова. Возникает так называемое проливное течение пота, изнуряющее организм и не обеспечивающее необходимую теплоотдачу.

Недостаточная влажность воздуха (менее 20%) также может оказаться неблагоприятной для человека вследствие интенсивного испарения влаги со слизистых оболочек, их пересыхания и растрескивания, а затем и загрязнения болезнетворными микроорганизмами.

Таблица 33 – Допустимые и оптимальные параметры микроклимата в производственном помещении.

Период года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая
Холодный	Тяжелая - III	16-18	13-19	40-60	<75	<0,3	<0,5
Теплый		18-20	15-26		<75 (при 24°С)		

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещении ВЦ должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

В зимнее время в помещении необходимо предусмотреть систему отопления. Она должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление.

8.4.2. Шум и вибрации

Одни из вредных факторов на производстве – шум и вибрации.

Шум на рабочем месте создается вентиляционной установкой и производственным оборудованием.

Шум, являясь общебиологическим раздражителем, не только действует на слуховой аппарат, но может вызвать расстройство сердечно-сосудистой и нервной систем, пищеварительного тракта, а также способствует возникновению гипертонической болезни. Кроме того, шум является одной из причин быстрого утомления работающих, может вызвать головокружение, что в свою очередь может привести к несчастному случаю.

Вибрация от оборудования передается через конструкции и пол к человеку и вызывает общую вибрацию его тела. Особо вредны колебания с частотой 6 - 9 Гц, близкой к частоте колебаний человека. При этом возникает резонанс, который увеличивает колебания внутренних органов, расширяя или сужая их, что весьма вредно.

Систематическое воздействие вибрации вызывает вибрационную болезнь (неврит) с потерей трудоспособности. Эта болезнь возникает постепенно, вызывая головные боли, боли в суставах, судороги пальцев,

спазмы сосудов и нарушение питания тканей тела. В особо тяжелых случаях в организме человека наступают необратимые изменения, приводящие к инвалидности.

Таблица 34 – Допустимые уровни шума (ГОСТ 12.1.003-83)

Категория машины	Уровни звукового давления (ДБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука, по дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Выполнение всех видов работ	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Таблица 35 – Допустимые амплитуды виброперемещений для различных условий воздействий вибрации (ГОСТ 12.1.012-90)

Частота гармонической составляющей, Гц	Амплитуда виброперемещения, $m \times 10^{-3}$		
	на постоянных рабочих местах стационарных машин в производственных помещениях	в производственных помещениях, не имеющих источников вибрации	в помещениях работников умственного труда и персонала, не занимающегося физическим трудом
2	1,4	0,57	0,2026
4	0,25	0,1	0,0354
8	0,063	0,025	0,0090
16	0,0282	0,0112	0,0039
31,5	0,0141	0,0056	0,0020
63	0,0072	0,0028	0,0010

Мероприятия по борьбе с шумом:

- уменьшение уровня шума в источнике его возникновения: повышение качества балансировки вращающихся деталей, улучшение смазки трущихся поверхностей;
- звукопоглощение и звукоизоляция;
- установка глушителей шума;
- рациональное размещение оборудования;
- применение специальных средств индивидуальной защиты: противοшумные наушники, шлемы, вкладыши.

Защита от вибраций должна начинаться, прежде всего, с их ликвидаций.

Коллективные методы защиты:

- улучшение работы механизмов;
- применение амортизаторов (резиновых, пружинных, пневматических);
- использование виброгасящего основания под соответствующее оборудование.

Средства индивидуальной защиты: специальные рукавицы, перчатки, виброзащитные прокладки и обувь.

8.4.3. Отсутствие или недостаток естественного света, недостаточная освещенность рабочей зоны

Естественный свет имеет высокую биологическую и гигиеническую ценность, так как обладает благоприятным для зрения человека спектральным составом и оказывает положительное воздействие на психологическое состояние человека - создает ощущение связи его с окружающим миром.

По нормам освещения и отраслевым нормам освещения рекомендуется 300 - 500 лк при общем освещении. Произведем расчет освещенности.

Длина помещения (А) – 9м.

Ширина помещения (В) – 6 м.

Высота помещения (Н) – 4 м.

Высота рабочей поверхности (h) – 1,1 м.

Коэффициент отражения стен (ρ_c) – 10%

Коэффициент отражения потолка (ρ_n) – 30%

Коэффициент запаса (К) – 1,6

Коэффициент неравномерности (Z) – 1,1

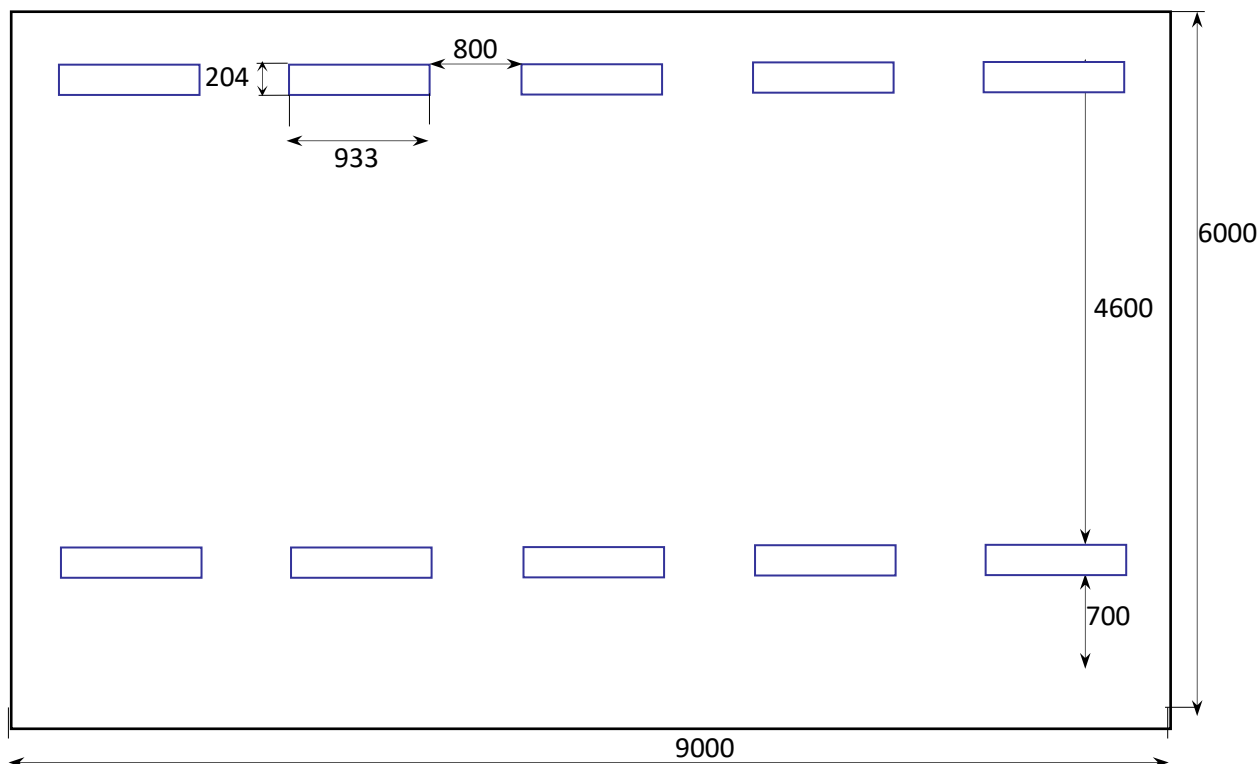


Рис. 61 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

1. Выбираем светильники ОДР-2-30 и располагаем их согласно рисунку 58, учитывая, что длина светильников: 933 мм., ширина: 204 мм. Высота подвеса над полом: 3,5 м.

Расстояние от светильников до стен выбираем 0.7 – 0.8 м. ($\approx 1/3 L$)

2. Найдём индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h(A+B)} = \frac{24}{2,4(9+6)} = \frac{24}{36} = 0,67$$

где S – площадь помещения, м²;

h – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м;

A, B – стороны помещения, м.

3. По таблицам находим:

- коэффициент использования: 48%
- минимальная освещённость: 300 лк

4. Величина светового потока лампы определяется по формуле:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 1,6 \cdot 54 \cdot 1,1}{20 \cdot 0,48} = 2970 \text{ лк}$$

где F – световой поток каждой из ламп, лм;

E – минимальная освещённость, лк;

K – коэффициент запаса;

S – площадь помещения, м²

n – число ламп в помещении;

η – коэффициент использования светового потока;

Z – коэффициент неравномерности освещения.

Выбираем 20 люминесцентных лампы типа ЛБ2180-140 со световым потоком 3000 лм. по 2 шт. в каждый светильник.

Недостаточная степень освещения рабочего места и помещения является вредным фактором, пагубно влияющим на здоровье человека, вызывающим ухудшение зрения. Неудовлетворительное освещение может, кроме того, являться причиной травматизма. Неправильная эксплуатация, так же, как и ошибки, допущенные при проектировании и устройстве осветительных установок, могут привести к пожару, несчастным случаям. При таком освещении снижается производительность труда и увеличивается количество допускаемых ошибок.

Всеобщим межотраслевым документом, содержащим нормы естественного и искусственного освещения предприятий, является СНиП 23-05-95.

К системам освещения предъявляются следующие требования:

- Соответствие освещенности на рабочих местах характеру зрительной работы. До определенного уровня увеличение освещенности повышает производительность труда за счет улучшения условий видения объектов. Дальнейшее увеличение освещенности экономически нецелесообразно;
- Достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности. При неравномерной яркости глаз вынужден в процессе работы переадаптироваться, что ведет к утомлению зрения;
- Отсутствие резких теней на рабочих поверхностях. Резкие тени, находящиеся в поле зрения человека, искажают размеры и формы объектов различения. Это повышает утомление зрения; движущиеся тени могут привести к травмам;
- Постоянство освещенности во времени. Колебания освещенности вызывают необходимость переадаптации глаза и приводят к значительному утомлению;
- Правильная цветопередача. Спектральный состав света должен соответствовать характеру работы;
- Обеспечение электро-, взрыво- и пожаробезопасности;

- Экономичность.

Нормы рабочего освещения приведены в таблице 35. Пайка SMD-компонентов относится к зрительным работам высокой точности (III, б). При этом контраст компонентов с фоном печатной платы средний.

Таблица 35 - Нормы освещённости на рабочих местах производственных помещений при искусственном освещении

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения,	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение			
						Освещённость, лк			
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения	
						всего	в том числе от общего		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Высокой точности	Св. 0,30 до 0,50	III	а	Малый	Тёмный	2000	200	500	
						1500	200	400	
				б	Малый Средний	Средний Тёмный	1000 750	200 200	300 200
				в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Тёмный	750 600	200 200	300 200
				г	Средний Большой «	Светлый « Средний	400	200	200

На рабочих местах, где отсутствует естественное освещение и условия освещения в целом оценены классом 3.2., можно снизить или устранить «вредность» за счет выполнения следующих мероприятий:

- защита временем (в случае пребывания работника в помещении без естественного освещения менее 25% рабочей смены, условия труда по

естественному освещению оцениваются как допустимые (класс 2), а от 25% до 75% - как вредные 1-й степени (класс 3.1);

- улучшение условий, создаваемых искусственным освещением (при фактическом обеспечении повышенного на ступень уровня нормированной освещенности и надлежащем качестве искусственного освещения условия освещения в целом оцениваются классом 3.1, а не 3.2);
- профилактическое ультрафиолетовое (УФ) облучение работающих даже при оценке искусственного освещения классом 3.1, а естественного освещения классом 3.2, позволяет снизить степень вредности естественного освещения и оценить освещение в целом классом 3.1.

Источники УФ-излучения устанавливаются вместе с обычными осветительными лампами, благодаря чему обычное искусственное освещение обогащается УФ-излучением. Во время пребывания в учебном или производственном помещении, где установлены такие облучатели, человек подвергается УФ-облучению небольшой интенсивности.

При недостатке на рабочем месте естественного освещения и оценке естественного освещения классом 3.1 можно выполнить следующие мероприятия:

- защита временем (в случае пребывания работника в помещении с недостаточным естественным освещением менее 50% рабочей смены условия труда по естественному освещению оцениваются как допустимые с классом 2);
- улучшение условий, создаваемых искусственным освещением (при фактическом обеспечении повышенной на ступень нормированной освещенности и надлежащем качестве искусственного освещения условия труда по освещению в целом оцениваются как допустимые с классом 2);

- анализ степени загрязнения стекол в светопроемах, их чистка и последующие контрольные измерения КЕО;
 - если недостаток естественного освещения обусловлен затенением зелеными насаждениями, обеспечение сноса деревьев;
 - в случае наличия в помещении зон с достаточным и недостаточным естественным освещением изменение расположения рабочих мест с их перемещением в зону с достаточным естественным освещением;
 - косметический ремонт помещения с использованием светлых отделочных материалов и последующие контрольные измерения КЕО.
- В каждом конкретном случае после анализа ситуации принимаются соответствующие решения, которые вносятся в план мероприятий по улучшению условий труда работников.

8.4.4. Электробезопасность

Электробезопасность – это целый комплекс мероприятий, нормативных документов, предписаний и защитного снаряжения, который направлен на уменьшение вероятности воздействия на людей электрического тока, статического электричества, электромагнитного поля и других факторов, которые могут вызвать травмы различной степени тяжести и даже привести к летальному исходу.

Прохождение электрического тока через тело человека вызывает поражение различных органов, оказывает воздействие на нервную систему, кровеносно-сосудистую систему человека, на кровь, сердце, мозг и т.д.

Пороговый ощутимый ток, поражая человека, может стать косвенной причиной несчастного случая, вызвав произвольные ошибочные действия, усугубляющие существующую ситуацию (работа на высоте, вблизи токоведущих, движущихся частей и т. д.). Увеличение сверхпорогового ощутимого тока вызывает у человека судороги мышц и болезненные ощущения.

ГОСТ 12.1.038—88 ССБТ устанавливает нормы предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов, распространяемые на

производственные и бытовые электроустановки постоянного и переменного тока с частотой 50 и 400 Гц и соответствующие прохождению тока по пути «рука-рука» или «рука-нога». Предусмотрены нормы для нормального (неаварийного) режима работы электроустановок и аварийного режима.

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, приведенных в таблице 36.

Таблица 36 – Предельно допустимые значения напряжения прикосновения и токов

Ток	U, В	I, мА
Переменный, 50 Гц	2	0,3
Переменный, 400 Гц	3	0,4
Постоянный	8	1,0

Напряжения прикосновения и токи приведены при продолжительности воздействия не более 10 мин в сутки и установлены, исходя из реакции ощущения.

Напряжения прикосновения и токи для лиц, выполняющих работу в условиях высоких температур (выше 25 °С) и влажности (относительная влажность более 75%) должны быть уменьшены в три раза.

Для бытовых электроустановок напряжением до 1000 В и частотой 50 Гц в аварийных режимах предельно допустимые значения напряжения прикосновения и токов в зависимости от времени воздействия приводятся в таблице 37.

Бытовыми электроустановками считаются электроустановки, которые используются в жилых, коммунальных и общественных зданиях всех типов, с которыми могут взаимодействовать как взрослые, так и дети.

Таблица 37 – Предельно допустимые значения напряжения
прикосновения и токов

t(сек)	0,01 - 0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Vпр (В)	220	200	100	70	55	40	35	30	27	25	12

Для производственных электроустановок напряжением выше 1000 В с глухим заземлением нейтрали и частотой 50 гц в аварийных режимах предельно допустимые значения напряжений прикосновения в зависимости от времени воздействия не должны превышать значений, указанных в таблице 38.

Таблица 38 – Предельно допустимые значения напряжения
прикосновения и токов

t(сек)	0,01	0,2	0,5	0,7	1	от 1 до 5
Vпр (В)	500	400	200	130	100	65

Электропоражения людей в условиях промышленного предприятия предупреждаются благодаря:

- а. техническим решениям, исключающим возможность включения людей в цепь тока между двумя фазами или между одной фазой и землей, способом, при котором токоведущие части, нормально находящиеся под напряжением, недоступны для случайного прикосновения. Это обеспечивается надежной изоляцией, ограждением, расположением их на недоступной высоте или под землей, блокировками и другими способами;
- б. снятию напряжения с токоведущих частей во время работ, при которых не исключена возможность прикосновения к ним;
- в. устройствам валентного заземления или автоматического отключения, обеспечивающим в случае повреждения изоляция и перехода напряжения на металлические части электроустройств ограничение напряжения по величине или отключение неисправного оборудования и аппаратуры;

- d. применению в электроустройствах безопасного напряжения в зависимости от условий, в которых они эксплуатируются;
- e. правильному выбору производственной среды. При этом следует иметь в виду, что влага, сырость, токопроводящая пыль, едкие пары и газы (ведущие к разрушению изоляции), высокая температура воздуха, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные и т. п.). наличие большого количества заземленного металлического оборудования повышают опасность электрических установок.

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 1000В используются диэлектрические перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

8.5. Экологическая безопасность

Важными направлениями охраны окружающей среды следует считать совершенствование технологических процессов и разработку нового оборудования с меньшим уровнем выбросов в окружающую среду, замену и по возможности широкое применение дополнительных методов и средств защиты окружающей среды.

При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014): бытовой мусор после предварительной

сортировки складывают в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681.

В качестве дополнительных средств защиты применяют аппараты и системы для очистки газовых выбросов, сточных вод от примесей. Важную роль в защите окружающей среды отводится мероприятиям по рациональному размещению источников загрязнения: оптимальное расположение промышленных предприятий с учетом местности; установление санитарно-защитных норм вокруг промышленных предприятий.

Производственные сточные воды после соответствующей очистки могут быть повторно использованы в технологическом процессе, для чего создаются системы оборотного водоснабжения либо замкнутые (бессточные) системы водоснабжения и канализации, при которых исключается сброс каких-либо вод в водоёмы.

8.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации при работе с объектом исследования: возникновение пожара и электропоражение.

Пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно - техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 мЗ.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действия администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

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

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья, т.е. пострадавшему должна быть обеспечена скорая медицинская помощь. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Выводы по разделу

В результате выполнения раздела «Социальная ответственность» были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. Проведен анализ опасных и вредных факторов труда согласно действующей нормативно – технической документации. В разделе были описаны источники возникновения вредных факторов, их воздействие на организм человека, приведены допустимые нормы с необходимой размерностью и были предложены средства защиты (коллективные и индивидуальные) для минимизации воздействия факторов. Также были рассмотрены вопросы экологической безопасности и выбраны наиболее вероятные виды чрезвычайных ситуаций. Для ЧС указаны источники возникновения и разработаны меры по предупреждению и возникновению. Был разработан порядок действий в результате возникновения ЧС и меры по ликвидации последствий.

Полученные результаты по разделу «Социальная ответственность» имеют большую значимость в практическом применении. Весь собранный материал основан на нормативных документах, которые регламентируют действия каждого выявленного опасного и вредного производственного фактора. При соблюдении всех требований безопасности, рабочий персонал будет полностью защищен от всех вредных, опасных факторов, чрезвычайных ситуаций и несчастных случаев.

Заключение

В результате выполненной магистерской диссертации, был спроектирован регулируемый асинхронный электропривод вентиляционной установки стоячного бокса.

В ходе работы был выбран двигатель марки АИР112М4, мощность выбранного двигателя составляет 5,5кВт. Для данного двигателя были построены естественные механические и электромеханические характеристики. Был рассчитан и выбран преобразователь частоты марки Danfoss серии VLT 2855. Были проведены расчеты и выбор главных силовых элементов системы регулируемого электропривода. В среде МАТЛАВ были построены имитационные модели асинхронного двигателя прямого пуска, для которого были сняты диаграммы переходных и динамических характеристик. Также была построена имитационная модель привода со скалярным регулированием скорости и компенсацией момента и были сняты характеристики. Затем было показано, как можно осуществить регулирование в автоматическом режиме частоты вращения вентиляционной установки стоячного бокса. В заключительной части диссертации выполнены разделы «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и «Социальная ответственность».

Данная тема магистерской диссертации имеет высокую актуальность, так как электропривод вентиляционной установки является неотъемлемой частью современной системы вентиляции, используемой в промышленности, сфере автомобилестроения, жилищной сфере.

Список литературы

1. Бондарь Е.С., Гордиенко А.С., Михайлов В.А., Нимич Г.В. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Под ред. Е.С. Бондаря. - Киев: ТОВ «Видавничий Будинок «Аванпост-Прим», 2005.
2. Асинхронные двигатели. Регулирование скорости [Электронный ресурс] <https://studfile.net/preview/5228530/page:3/> (дата обращения: 23.05.2020).
3. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Автоматизированный электропривод: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 224 с.
4. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным [Электронный ресурс] https://studme.org/90452/tehnika/opredelenie_parametrov_shemy_zamescheniya_asinhronnogo_dvigatelya_katalozhnym_dannym (дата обращения: 23.05.2020).
5. Расчет статических механических и электромеханических характеристик асинхронного двигателя [Электронный ресурс] https://stud.wiki/physics/2c0b65625a2bd79a5d43b88421316d37_0.html (дата обращения: 23.05.2020).
6. Решетняк С.Н. К вопросу использования фаззи-логики для управления электроприводами асинхронных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. ОВ 4.
7. Фащиленко В.Н. Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок предприятий: Учебное пособие. - М.: Изд-во «Горная книга», 2011.
8. S. Devasia, E. E. Eleftheriou, and R. Moheimani, “A survey of control issues in nanopositioning,” IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 15, no. 15, pp. 802–823, 2007.

9. L. Lihua, L. Yingchun, G. Yongfeng, and S. Akira, "Design and testing of a nanometer positioning system," *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 132, no. 2, pp. 021011–6, 2010.
10. K. K. Tan and K. Z. Tang, "Adaptive online correction and interpolation of quadrature encoder signals using radial basis functions," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 13, pp. 370–377, May 2005.
11. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018).
12. ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».
13. ГОСТ 12.2.033-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования».
14. ГОСТ 12.2.061-81 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам».
15. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
16. ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности».
17. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования».
18. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».
19. СНиП 23-05-95. «Естественное и искусственное освещение».

Приложение А
(справочное)

Electric ventilation unit for car parking

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ87	Чирков Антон Олегович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев И.А.	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Качалов Н.А.	к.п.н		

ABSTRACT

Electric ventilation unit for car parking

In the world, as population density increases and space becomes more of a premium, multi-storey car parks have become an increasingly attractive way of parking vehicles within towns and cities. Multi-storey car parking facilities are now common place in office buildings, shopping complexes and apartment blocks. Car park design has also changed greatly over the years. Previously, car parks were designed as functional buildings offering little aesthetic appeal, but architects and city planners now feel the need for car parks to show more compassion to their surroundings. The result is that car parks are increasingly becoming enclosed buildings and as a consequence, natural ventilation is harder to achieve. As a result ventilation systems have become common place to provide extraction of vehicle fumes and, in the case of a fire, smoke ventilation.

Under the ventilation understand the process of removing exhaust air from the room and replacing it with outside. In necessary cases, the following processes are carried out: air conditioning, filtration, heating or cooling, humidification or drainage, ionization, and so on. Ventilation provides sanitary and hygienic conditions (temperature, relative humidity, and air velocity and air purity) of the indoor air, favorable for human health and well-being, meeting the requirements of sanitary standards, technological processes, building structures of buildings, storage technologies, etc.

A supply ventilation system is a system that supplies a certain amount of air to the room, which can be heated in the winter and cooled in the summer.

When cars are operating, a large number of harmful substances are released, which negatively affect the health of working personnel. Therefore, the project was developed on the basis of the terms of reference, architectural and construction drawings and current regulatory documents.

Chapter 1

1. Introduction

In this supply ventilation, an asynchronous electric drive is installed, which has large starting currents, which adversely affects the service life. The best solution in this situation is the introduction of modern technological equipment that allows you to maximize the capabilities of control systems and thereby achieve a qualitatively new level of technology.

At present, the frequency control method of an asynchronous machine is widely used around the world, which today is considered not only in terms of saving energy consumption but also in terms of improving process control.

In industrialized countries, the technique of using variable frequency drives has been used for over 30 years. During this time, scientific and methodological foundations were laid, technical means of controlling the electric drive were developed and improved, technological processes and equipment were improved, training courses for training specialists were adjusted. Enough experience has been gained in making technical decisions when creating systems using this type of drive, a number of solutions are standardized.

In our country, a slightly different situation has developed. The development of full-scale integrated process control systems to replace obsolete systems is still very small. Despite this, there is still experience with the use of variable frequency drives for the modernization of ventilation installations.

Modernization of fans through the use of frequency regulation is the task of the lower level of process control systems. At the same time, issues of energy saving, improving the quality of the process, the service life of system units, as well as a number of other issues that improve the level of perfection of the system as a whole, are effectively addressed.

Within car parks, there are three methods of ventilation

1. Natural ventilation

These tend to be above ground car parks with permanent wall openings on each level equal to 5 percent of the net floor area in natural openings, 50 percent of which must be split between opposing walls. These openings provide enough ventilation for smoke clearance and removal of exhaust fumes. Designers also have to take full account of the aerodynamic effect of any barriers across the ventilation openings.

2. Assisted natural ventilation

When 5 percent of open space is not achievable, but 2.5 percent of the net floor area is available to provide cross-ventilation, a reduced rate of ventilation is possible. This is sufficient ventilation for smoke clearance, but in addition a mechanical extract providing three air changes per hour is needed to remove exhaust fumes.

3. Mechanically ventilated

Where natural ventilation is not possible, the only option is to provide a mechanical means of ventilation. This needs to achieve six air changes per hour for exhaust fume extract and 10 air changes per hour for smoke clearance.

Legal requirements

The ventilation system for an enclosed car park has two functions:

1. To remove vehicle exhaust fumes, mainly carbon monoxide, during normal car park usage, creating an acceptably air-conditioned environment.
2. To remove the smoke in the event of a fire to assist in providing a safe means of escape.

For the modern requirements, the standards currently are:

- Six air changes per hour, (or ventilation to maintain the CO level < 50 ppm for fume control function);
- 10 air changes per hour, or a ventilation rate based on the requirements in BRE 368, for fire smoke removal;

- Total ventilation duty must be divided between two fans;
- Fans must be capable of surviving a minimum of 300°C for 1 hour;
- Exhaust ductwork system to have extract grilles, 50 percent at a high level and 50 percent at a low level;
- Attention has to be given to the supply of replacement air.



Fig. 62 - Supply unit

Chapter 2

2. Car park ventilation applications

Jet, impulse or induction systems

All the above are different names for the same basic system and provide car parks with ventilation by propelling a small jet of air at extremely high velocity, causing the surrounding air to be carried along with it.

These systems were originally designed for the extraction of fumes from tunnels but are now commonplace in car parks as they work well in confined areas.

The system works by adding momentum to the air and directing it to a pre-designated extraction point ensuring there are no dead spots for fumes and smoke to stagnate and collect.

The system offers significant space-saving benefits over traditional ductwork systems along with huge energy saving potential, as only a small number of carefully located fans are needed to ensure air movement throughout the car park.

Advantages of the jet, impulse or induction systems

The advantages are:

- Jet fans take up less space than traditional ducted systems;
- Jet systems are often combined with CO detection so the system begins to extract when pollution levels build up too high;
- Running fans in this way save energy;
- Noise levels are significantly reduced as fans are smaller and run at lower speeds;
- Jet fans cost less than ducted systems – Easier for engineers to carry out maintenance.

Jet, impulse or induction systems with variable-speed drives

Many jet systems operate at a constant flow rate; however peak demand may only be required for a small percentage of the day. The conventional response to control air ventilation within car parks is to maintain a fan speed that turns the air over in accordance with building regulations; however there are fluctuations in demand and maintaining a constant fan speed becomes inefficient when car parks are not busy.

All car parks will have peaks in demand and consequently demands on the ventilation system will differ accordingly. In traditional systems, fans run at 100 percent at all times and are controlled by throttling arrangements, but this is extremely energy-intensive. By controlling fan speed using variable-speed drives, car parks can reduce their overall energy spends. This is achieved by using variable-speed drives on fans to vary airflow, meeting changing load demands more precisely. ABB drives also allow you to adjust a real-time clock, without the need for a building management control system. This helps to save money as each drive can be set up independently to activate functions at various times of the day according to the needs of the car park.

Traditional ventilation systems

Within traditional systems, ductwork is used to remove smoke from the car park. Ducts are evenly spread throughout the car park and also feature at low levels to provide extraction points. Many of these traditional systems were installed during times when vehicle pollution levels were high, yet today with the invention of the catalytic converter and the growing trend of smaller engines, many car park ventilation systems find themselves oversized and as such, can benefit from improvements in ventilation control.

Traditional systems tend to make use of vanes and dampers to restrict airflow to individual floors whilst maintaining peak flow in the central HVAC system. However this approach uses considerable energy and equipment lifetime is shortened. A much better approach is to reduce the fan speed in the ventilation

system to match the needs of the building. This can be achieved by installing variable-speed drives.

Variable-speed drives

Car park electricity costs can be significantly reduced by as much as 50 percent with variable-speed drives from ABB. These devices control the flow of pumps and fans to eliminate the energy waste that is common with conventional pump and fan control methods.

How variable-speed drives work

Many existing fan systems are based on throttling arrangements: the motor is driven at full speed and then the flow of air is regulated by dampers, vanes or similar throttling mechanisms. Throttling the output in this way, wastes energy. A drive can increase the system's efficiency by adjusting the motor speed to the correct operation point and eliminating the need for throttling.

A small reduction in speed can make a big difference in energy consumption. A fan running at half speed consumes only one quarter as much energy as a fan running at full speed. This is because of the power required to run a fan changes with the cube of the speed.

Because many fan systems run at less than full capacity for much of the time, drives can produce huge savings. If a 100 kW fan is throttled by 50 percent, for example, the investment in a drive will have a payback of only six months of continuous operation.

Built in CO and CO₂ sensors

ABB drives can vary the speed of fans according to how much CO and CO₂ there is in the air. The drives monitor the air with their built-in sensors and adjust the motors accordingly, so air turnover is maintained within safe levels. Controlling motors in this way also allows the fans to be turned down to a minimum when demand for air turnover is low, helping to save energy and reduce electricity costs. ABB drives also allow fan settings to be adjusted from a central

point; if one drive is adjusted, the settings are administered throughout the car park, helping to maintain balance within the system.



Fig. 63 - Various drives

Eliminating harmonic distortion

As car parks are fitted with sensitive measuring equipment, it is important that the drives cause as little disturbance as possible to the mains supply to avoid interfering with the instrumentation.

Certain ABB drives feature a patented swinging choke that reduces the harmonic signature at low motor speeds, fulfilling the international standard IECEN61000-3-12. The choke adjusts automatically according to the electrical load and circumstances and cuts harmonics, especially at partial loads, for a total reduction of up to 25 percent, compared to traditional choke designs.

Chapter 3

3. The benefits of variable-speed drives

Commercial:

- Reduced energy consumption – typically 50 percent;
- Fast payback – from 6 months;
- Reduced CO₂ emissions;
- Enhanced Capital Allowance scheme provides businesses with enhanced tax relief for investments in energy-saving equipment meeting the Government's published criteria;
- Financing available through the Carbon Trust;

- Fans offer the best energy-saving potential in car parks eg. applying a variable-speed drive to a 75 kW motor in continuous duty can save nearly £15,000 per year.

Technical:

- Lower maintenance costs;
- Starting, stopping and braking can easily be programmed to reduce stress on mechanical equipment;
- Increases equipment life and reduces maintenance requirements for fans and motors;
- Easily retrofitted into an installation;
- Real-time clock;
- Can easily set up programmes with different running speeds at different times or on different days, making the drive ideal for car park applications;
- Low harmonic available solutions as part of installation design.

Car park users:

- Clean air circulation throughout critical car park areas;
- Tighter control over CO and CO₂ levels.

Facilities Manager:

- Gain control of air circulation, eliminate static air pockets;
- Easy to retrofit drive into an installation.

Help is available.

Current producers provide free energy appraisals that detail the best applications for upgrade and show the savings that can be achieved by installing variable-speed drives and high-efficiency motors. A drive and electric motor combination, when used to control the speed of applications such as pumps and fans, can reduce the energy bill by up to 70 percent with a payback in less than 12 months.

The 50-person strong Energy Appraisal Team comprises of ABB engineers and selected technical partners, all of whom have extensive practical

experience of carrying out energy appraisals over the past 20 years and have attended ABB's intensive energy saving training course, will within half-a-day provide an analysis of the energy-saving potential within the motor-driven applications.

Chapter 4

General design considerations

In recent years, stand-alone inverters with keys on power transistors such as IGBT and MOSFET have found application. An asynchronous electric drive with an autonomous voltage inverter made on IGBT transistors is shown in Figure 61.

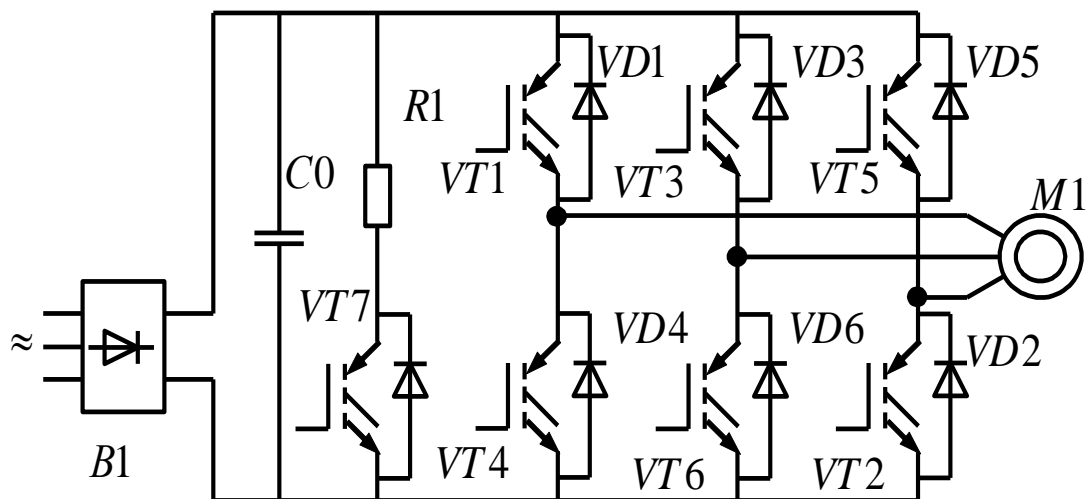


Fig. 64 - Asynchronous electric drive with an autonomous voltage inverter made on IGBT transistors

The inductive nature of the load is taken into account by connecting diodes in parallel with the transistor switches, ensuring continuity of the current flow circuit in the stator windings when disconnecting them from the power source and returning the stored electromagnetic energy to the filter capacitor.

Since IGBT transistors can switch at much higher frequencies than thyristor switches, the shape of the current flowing through the motor windings becomes much closer to sinusoidal. Obviously, the higher the carrier frequency of the PWM, the smaller the amplitude of the current oscillations in the stator windings

of the motor. Figure 65 shows the waveforms of the stator currents of an induction motor at low and high carrier frequencies of the PWM modulator reference voltage.

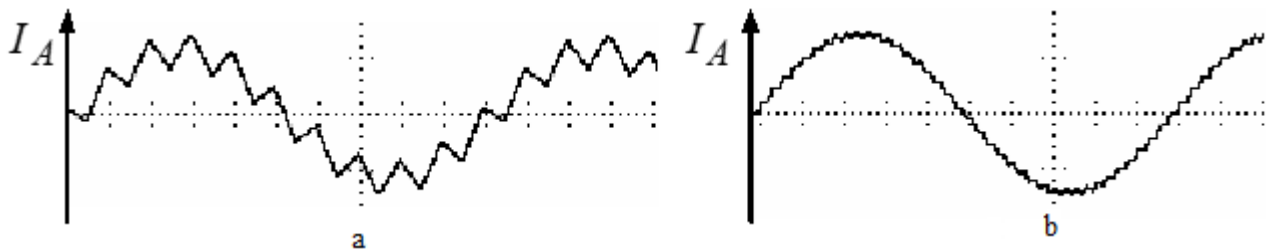


Fig. 65 - Oscillograms of stator currents of an induction motor at low (a) and high (b) carrier frequency of the PWM modulator reference voltage

However, an excessive increase in the carrier frequency can lead to overheating of the motor and inverter keys. The higher the switching frequency of the keys, the higher the energy loss in them.

In electric drives having, in the cycle of operation, areas for recovering energy stored in the rotating parts of the electric drive, or high-intensity braking modes for effective braking, it is necessary to provide for a special energy dumping unit consisting of an additional switch and a resistor. The key opens when the voltage on the capacitance exceeds the permissible value, which results in a "discharge" of energy into the resistor dissipating this energy.

In the structures of electric drives with autonomous voltage inverters covered by negative current feedback, the inverter acquires the properties of a current source.

In electric drives with autonomous voltage inverters, vector control is possible, which allows them to be used for processes with increased requirements for dynamics and starting torque. In addition, these converters, together with induction motors, in many cases make it possible to replace the more expensive direct current electric drive.

The use of autonomous voltage inverters with individual switching keys allows you to adjust the output voltage using an autonomous inverter, with a constant constant voltage at its input. If in this case the switching frequency of the switches is significantly higher than the inverter output frequency, then in the output voltage spectrum, in addition to the main harmonic, there are only very high order harmonics that are easily filtered by the motor inductances.

The advantages of voltage inverters are:

1. In a more stringent output current-voltage characteristics.
2. The ability to achieve large limits of frequency regulation.
3. The ability to work with both single and multiple engines.

Disadvantages:

1. Large capacity electrolytic capacitor C_0 filter the power of voltage inverters is relatively small 3-1500 kVA.
2. Difficulties in ensuring the recovery of electrical energy into the network in braking conditions.

The most effective methods for controlling the speed of a squirrel-cage induction motor are associated with a change in the rotation speed of the stator electromagnetic field.

From here two main methods of regulating the rotation speed of the electromagnetic field follow:

- Change in the number of pole pairs;
- Change in the frequency of the voltage of the stator of the motor.

Methods of frequency regulation of the speed of AC electric drives with squirrel-cage induction motors are increasingly used in various branches of technology. Converting the alternating voltage of the supply network into alternating voltage with an adjustable frequency, voltage and current is carried

out by frequency converters. Currently, frequency converters are based on power semiconductor switches. The rapid growth of frequency converters became possible with the advent of insulated-gate bipolar transistors, designed for currents up to several thousand amperes, voltages up to several kilovolts, and a switching frequency of 20 kHz and higher.

According to the type of communication with the supply network, frequency converters on semiconductor elements are divided into two large classes:

- Direct-coupled frequency converters;
- Frequency converters with a direct current link.

Frequency converters with a DC link, in turn, are divided into:

- Autonomous current inverters (AIT);
- Autonomous voltage inverters (AIN).

In their structure, autonomous inverters contain a rectifier, a power filter and an inverter that converts direct voltage (current) into alternating voltage (current) of a given frequency.