

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



Институт электронного обучения
 Направление подготовки (специальность) Электроэнергетика и электротехника
 Кафедра электропривода и электрооборудования

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод переменного тока вентилятора охлаждения градирни УДК 621.634; 621.63; 621.372.632

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Хушваков Мансуржон Бурхонович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев Сергей Николаевич	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дементьев Юрий Николаевич	к.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.

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

Институт электронного обучения

Специальность_140604-“Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов”

Кафедра электропривод и электрооборудование

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

 (Подпись) _____ (Дата) Ю.Н.Дементьев
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
З-5Г12	Хушваков Мансуржон Бурхонович

Тема работы:

Электропривод переменного тока вентилятора охлаждения градирни
Утверждена приказом директора (дата, номер) №2533/С от 01.04.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломный практики, техническая литература
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; описание технического процесса; выбор мощности двигателя, расчет и построение электромеханических характеристик оптимизация контура регулирования, тока, скорости, испытание линейного и S образного задатчика напряжения в среде MatLab, социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	• схема кинематического механизма • схема электрического функциональная • схема структурная • схема имитационной модели-демонстрационный лист • технико-экономические показатели
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и	Мелик –Гайказян Мария Вигеновна

ресурсосбережение	
Социальная ответственность	Романцов Игорь Иванович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
реферат	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев Сергей Николаевич	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Хушваков Мансуржон Бурхонович		

Томск – 2016 г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Электропривод переменного тока вентилятора охлаждения градирни

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г12	Хушваков Мансуржон Бурхонович

Институт	Институт энергетики	Кафедра	Электропривода и электрооборудования
Уровень образования	Бакалавратура	Направление/специальность	Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: 1.1. вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) 1.2. опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) 1.3. негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) 1.4. чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	Закрытое сухое помещение, с 4 ПЭВМ, где происходит обработка данных и выполняются исследовательские работы, связанные с созданием макетов электроприводов. Необходимо поддержание: 1.1. Нормативных метеоусловий, качества воздушной среды (в условиях проведения пайки), освещения, уровней вибрации, шума и ЭМП; 1.2. Нормативных мер обеспечения электро- и пожаробезопасности, защиты от ожогов при работе с паяльником и при замыкании фазы питания на корпус ПЭВМ при нарушении его заземления. 1.3. Использование ПЭВМ, освещение и отопление требуют сжигания топлива на ТЭЦ, дающего выбросы в атмосферу ЗВ. 1.4. Наиболее вероятные ЧС:
2. Ознакомление и отбор законодательных и нормативных документов по теме и отбор их.	ГОСТ 12.0.003-74 «ОпВПФ»; ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»; ГОСТ 12.1.01290 «Вибрационная безопасность»; ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»; ПУЭ, утвержденный министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.; №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»; Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681; Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12.2014).

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: 1.1. физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; 1.2. действие фактора на организм человека; 1.3. приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); 1.4. предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	Вредные факторы: 1. Шум; 2. Вибрации; 3. Загазованность рабочей зоны; 4. Ненормативные метеоусловия; 5. Ненормативное освещение; 6. Ненормативные ЭМП.
---	---

2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности: 2.1. механические опасности (источники, средства защиты); 2.2. термические опасности (источники, средства защиты); 2.3. электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); 2.4. пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	. Вся электрическая цепь помещения оснащена заземлительным контуром, выполненным в соответствии с ПУЭ от 08.07.2002, №204.Глава 1.7. Опасные факторы: 2.1. Опасность электропоражения; 2.2. Опасность ожога; 2.3. Пожаровзрывоопасность.
3. Охрана окружающей среды: 3.1. защита селитебной зоны 3.2. анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 3.3. анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); 3.4. анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); 3.5. разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	По п.п.3.1.,3.2.,3.4.: Люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681. По п.п. 3.1.,3.2.: оценить масштабы уменьшения выбросов ЗВ от возможной экономии электроэнергии на рабочем месте. По п.3.3.: описать схему очистки коммунальных стоков в г. Томске. По п.3.4.: дать схему обращения твердых отходов от рабочего места согласно Постановлению Администрации г. Томска от 11.11.2010. По п.3.5.: обобщить меры по защите окружающей Среды.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: 4.1. перечень возможных ЧС на объекте; 4.2. выбор наиболее типичной ЧС; 4.3. разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; 4.4. разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС.	Разработать мероприятия по предупреждению загораний, ожогов и электропоражений и мер по ликвидации их последствий.
5. Правовые и орг. вопросы обеспечения безопасности: 5.1. орг. мероприятия при компоновке рабочей зоны	
Перечень графического и инструктивного материалов:	
Обязательные графические материалы к расчётам по заданию (обязательно для специалистов и магистров).	Инструкции по электробезопасности и пожарной безопасности. План эвакуации.

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

Задание выдал консультант, должность:	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И.И	К.т.н.,		

Задание принял к исполнению студент Группы	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Хушваков М.Б		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г12	Хушвакову Мансуржону Бурхоновичу

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

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

1. Стоимость затрат технического проекта	В техническом проекте были задействованы 2 человека (руководитель, бакалавр). Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г.Томску. Зарботная плата рассчитывается в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. Продолжительность выполнения	Приблизительная оценка продолжительности выполнения технического проекта определяется исходя из ожидаемой трудоёмкости работ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка потенциала и перспективности реализации ТП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Уровень потенциала и перспективности реализации ТП можно оценить с помощью SWOT-анализа и интегральной оценки ресурсоэффективности.
2. Планирование и формирования графика работ по реализации технического проекта	Уровень трудоёмкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным строится график Ганта, позволяющий спланировать процесс реализации технического проекта
3. Формирование сметы технического проекта	В процессе формирования сметы Технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям: • материальные затраты; • полная заработная плата исполнителей; • отчисления во внебюджетные фонды; • накладные расходы;

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Хушваков Мансуржон Бурхонович		

Техническое задание

Разработать регулируемый электропривод вентилятора ВГ 25РК, удовлетворяющий следующим техническим требованиям и характеристикам.

1. Режим работы – продолжительный, нагрузка реактивная.
2. Электропривод нереверсивный, диапазон регулирования в рабочей зоне $D = 1:0,5$, при плавном регулировании скорости в указанном диапазоне.
3. Погрешность поддержания заданной скорости вращения на нижней рабочей скорости не более 5 % .
4. Управление электроприводом – ручное, с пульта управления обслуживающим персоналом, в автоматизированном режиме поддержания давления с возможностью интеграции в систему управления более высокого уровня.
5. Электродвигатель должен быть предназначен для работы в условиях повышенной влажности, иметь закрытое исполнение со степенью защиты не ниже IP54.
6. Преобразователь должен быть предназначен для работы в закрытых стационарных помещениях при температуре окружающего воздуха от 5° до 45°С и относительной влажности не более 80% .
7. Система управления электроприводом должна обеспечивать надежную защиту от перегрузок и аварий, простоту управления и обслуживания.
8. Сеть трёхфазная, $380 \pm 10\%$ В, 50 ± 1 Гц.

РЕФЕРАТ

Перечень ключевых слов: осевой вентилятор; градирня; система автоматического регулирования; частота вращения; преобразователь частоты.

В работе проведен расчет электропривода осевого вентилятора градирни. Описан технологический процесс работы установки, представлена кинематическая схема механизма привода вентилятора с редуктором, даны его технические характеристики, сформулированы технические требования к электроприводу. Проведен расчет кинематической схемы осевого вентилятора и выбор мощности двигателя, проведен выбор электрооборудования на основе преобразователя частоты, расчет и построение статических характеристик. Выполнен синтез системы управления электроприводом. Динамические режимы исследованы на имитационной модели системы, которые подтвердили правильность выбранных технических решений. В экономическом разделе рассмотрен SWOT-анализ проекта, а разделе охрана труда – техника безопасности при чрезвычайных ситуациях и эксплуатации установки, расчет заземления и экологичность проекта.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	12
1.1 Назначение градирни.....	12
1.2 Устройства и принцип работы градирни.....	14
1.3 Размещение градирен	15
1.4 Габаритно присоединительные размеры	17
1.5 Технические данные	18
2. ВЫБОР ПРИВОДНОГО УСТРОЙСТВА	20
2.1 Паспортные данные электродвигателя	20
2.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя.....	21
2.3 Расчет естественных характеристик двигателя	24
2.4 Выбор преобразователя частоты.....	27
2.5 Расчет статических характеристик системы преобразователь двигатель	29
2.6 Моделирование прямого пуска асинхронного двигателя	33
3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	33
3.1 Моделирование прямого пуска электродвигателя с частотным законом управления $U/f^2=\text{const}$	36
3.2 Имитационная модель задатчика интенсивности с S образной характеристикой	42
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	50
4.1 SWOT-анализ по разработке проекта электропривода вентилятора градирни	50
4.2 Планирование работ технического проекта.....	53
4.2.1 Определение структуры работ в рамках технического проектирования.....	53
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	54
4.3 Составление сметы технического проекта	57
4.3.1 Затраты на спец. оборудование	57
4.3.2 Полная заработная плата исполнителей темы	58
4.3.4 Накладные расходы	60
4.3.5 Формирование сметы технического проекта.....	60
4.4 Определение ресурсоэффективности проекта.....	61
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	64
Введение	64
5.1 Анализ опасных и вредных факторов	64
5.2 Техника безопасности.....	65
5.3 Производственная санитария	70
5.4 Пожарная безопасность	74
5.5 Охрана окружающей среды.....	75
5.6 Защита при ЧС	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	77
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	79

ВВЕДЕНИЕ

Россия в последние годы стало больше уделять внимание энергосбережению на производстве. Обусловлено это непрерывным ростом цены на энергоресурсы и это свою очередь приводит подорожание энергоресурсов в том числе и электроэнергии. Если взглянуть с другой стороны уменьшения энергозатрат позволит снизить себестоимость производимой продукции, это свою очередь увеличить ее конкурентоспособностью.

На производстве энергосбережение добиваются путем уменьшение потерь в потребителях электроэнергии. Как правило, на производстве большая часть потребителей является электродвигатель, тем самым, делаем вывод – уменьшение потерь в электроприводе является одной из основных задач энергосбережения.

По сей день асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором имеет большее распространение, нежели другие виды электродвигателей. Это приблизительно 90% от всех эксплуатируемых двигателей. Всему объяснение это его преимущества, такие как низкая стоимость, высокая надежность, эксплуатации изготовление. И так, добиваясь уменьшения потерь в электроприводе с асинхронным двигателем, мы увеличиваем энергетическую эффективность. Но связи с тем и синхронный двигателя эксплуатирует в разных сферах производства, это значит нельзя решить эту проблему одним способом. В каждой сфере есть свои нюансы тем самым каждый из них нужно анализировать режим работа за тем искать способы уменьшения потерь.

Использование управляемого электропривода это основной способ увеличения энергосбережение в электроприводе. Раньше для управления скоростью вращения вала электродвигателя постоянного тока. Асинхронные электродвигатели только в нерегулируемом приводе. Но благодаря тому, что силовая электроника и микропроцессорная техника развивалась, начали производиться надежные и относительно недорогие преобразователи частоты. После этого преобразователи частоты начали использовать в регулируемых

асинхронных электроприводах для управления скоростью вала, что привело уменьшению спроса на ЭП постоянного тока.

Преобразователи частоты нашли широкое применение в горнорудной промышленности. Сегодня такое оборудование как градирни, конвейеры, дробилки сложно представить без использования современных приводов. Учитывая тяжелые условия пуска и останова, необходимость обеспечения оптимального режима работы промышленных установок, сложно переоценить роль современного энергосберегающего оборудования в данной отрасли.

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Назначение градирни

Градирня – это устройство для незначительного охлаждения теплой воды. «Незначительное» означает, что после градирни вода не становится ледяной, как в чиллере (+7 градусов). Температура поступающей воды в градирню – около 40...50 градусов, после градирни – 25...30 градусов (в лучшем случае).

Необходимость охлаждать теплую воду возникает, если того требует технологический процесс на производстве или в случае охлаждения воды для чиллера с водяным конденсатором, а также при кондиционировании.

Градирни бывают двух типов: собственно градирни и «сухие градирни» («**drycooler**» / «**драйкулер**»).

Принцип действия градирни основан на разбрызгивании через форсунки горячей воды от чего собственно и происходит ее охлаждение. Очень часто к этому процессу добавляется обдув потоком воздуха при помощи осевых вентиляторов.

Башенные градирни – используются для охлаждения больших объемов воды, в несколько раз превышающих объемы воды на промышленных предприятиях. Эти градирни применяются преимущественно на тепловых и атомных электростанциях.

Высота больших башенных градирен, изготавливаемых из монолитного бетона, может достигать 90 метров и иметь площадь орошения до 3200 м².

1.2 Устройство и принцип работы градирни

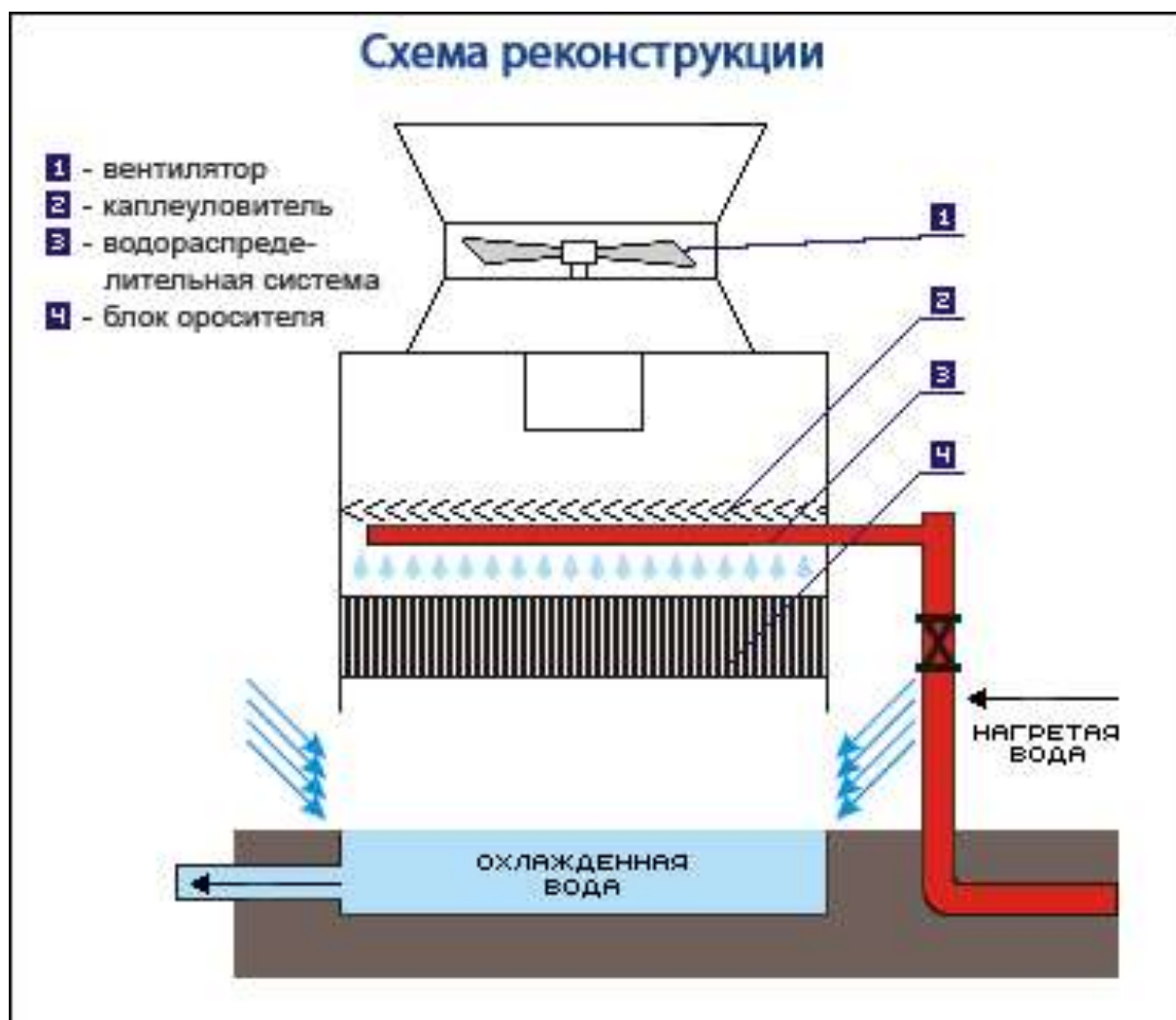


Рис. 1 Устройство градирни

Принцип работы градирни состоит в следующем. Через (3) водоороситель (водораспределительное устройство) постоянно поступает вода, таким образом, чтобы её подача была по всей поверхности (4) водоуловителя (4) равномерной. В процессе испарения вода (которая подвергается в случае необходимости предварительной обработке для предотвращения отложений и коррозии в системе), выходя каплями вместе с воздухом, понижает температуру. Для создания тяги через градирню устанавливают вентиляторы(1) и регулируемые жалюзи.

Все градирни разделяют, по их эффективной возможности увеличения поверхности соприкосновения воды и воздуха, на:

- капельные, имеющие расположенные по высоте оросительного устройства горизонтальные решетки, с которых вода стекает в виде относительно больших капель;
- плёночные, в которых вода стекает по плоским вертикальным, волнистым листам или другим насадкам, в виде тонкой пленки;
- брызгальные (безнасадочные) выделяются разбрызгиванием воды при помощи сопел.

По направлению движения воздуха относительно воды в оросительном устройстве градирни могут быть противоточными, поперечно-точными и со смешанным током.

Водораспределительные устройства градирен выполняют:

- безнапорными, в виде системы лотков, из которых вода переливается через зазубренные верхние края бортов или истекает через отверстия или трубки в днищах;
- напорными, в виде системы труб с соплами.

Водоуловитель представляет собой горизонтальные решетки типа одно- и многорядных жалюзи.

По способу создания тяги воздуха различают градирни:

- вентиляторные, в которых тяга создается отсасывающими или нагнетательными вентиляторами (как правило, осевого типа);
- башенные, в которых осуществляется естественная тяга;
- открытые, в оросительном устройстве которых, огражденных со всех сторон посредством жалюзи, наружный воздух поступает под действием силы ветра.

1.3 Размещение градирен

При размещении **градирен** на площадке предприятия учитывают характер застройки окружающей территории, стремятся к меньшей протяженности циркуляционных трубопроводов, соединяющих потребителей охлаждающей воды с **градирнями**, а также учитывают направление господствующих ветров зимой и летом, туманообразование и вынос капель воды за пределы **градирни**, вызывающие обмерзание расположенных вблизи сооружений.

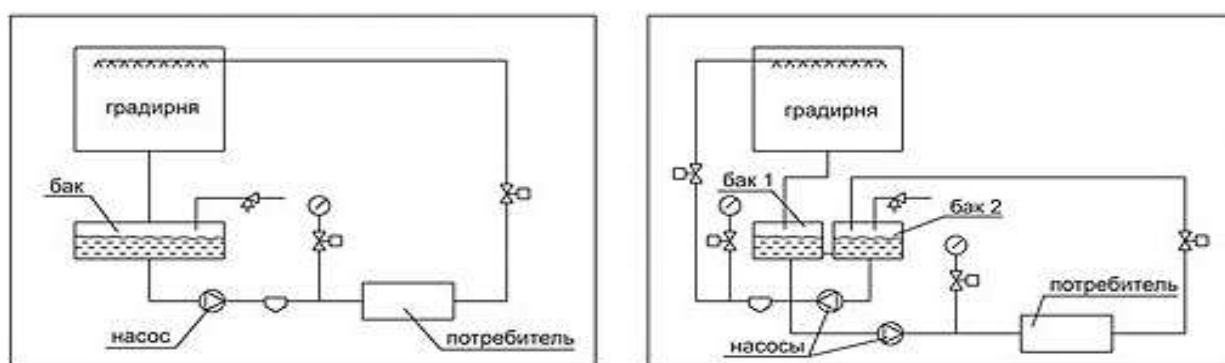


Рис. 2 Схема гидравлического контура охлаждения градирни для одного потребителя (а), система охлаждения с градирнями, имеющие отдельные контуры приготовления и потребления (б)

В целях уменьшения диаметров и протяженности трубопроводов водопроводных сетей применяют при соответствующем технико-экономическом обосновании децентрализацию систем оборотного водоснабжения с максимальным приближением **градирен** к цехам потребителям воды. На основании результатов исследований по взаимовлиянию охладителей друг на друга можно рекомендовать принимать при проектировании расстояния между рядами **градирен** не менее 10 метров. **Градирни** в каждом ряду следует располагать на минимальном расстоянии, с учетом размещения между ними площадок обслуживания для проведения работ по снятию, очистке и установке форсунок и обслуживанию и контролю за работой вентиляторов, а **градирен** целесообразно располагать параллельно

друг другу и направлению господствующего ветра. **Градирни**, установленные на высоких площадках по отношению к уровню земли или на крышах зданий, способствуют лучшему рассеиванию выходящих паров воды, меньше увлажняют окружающий воздух и меньше повышают его температуру. Исходя из этих соображений, число **градирен** в обратном цикле желательно стремиться принимать возможно меньшим, за счет увеличения их размеров, но не менее двух. Увлажнение наружного воздуха вокруг градирен существенно уменьшено, путем устройства высокоэффективных водоуловителей [3].

1.4 Габаритно-присоединительные размеры

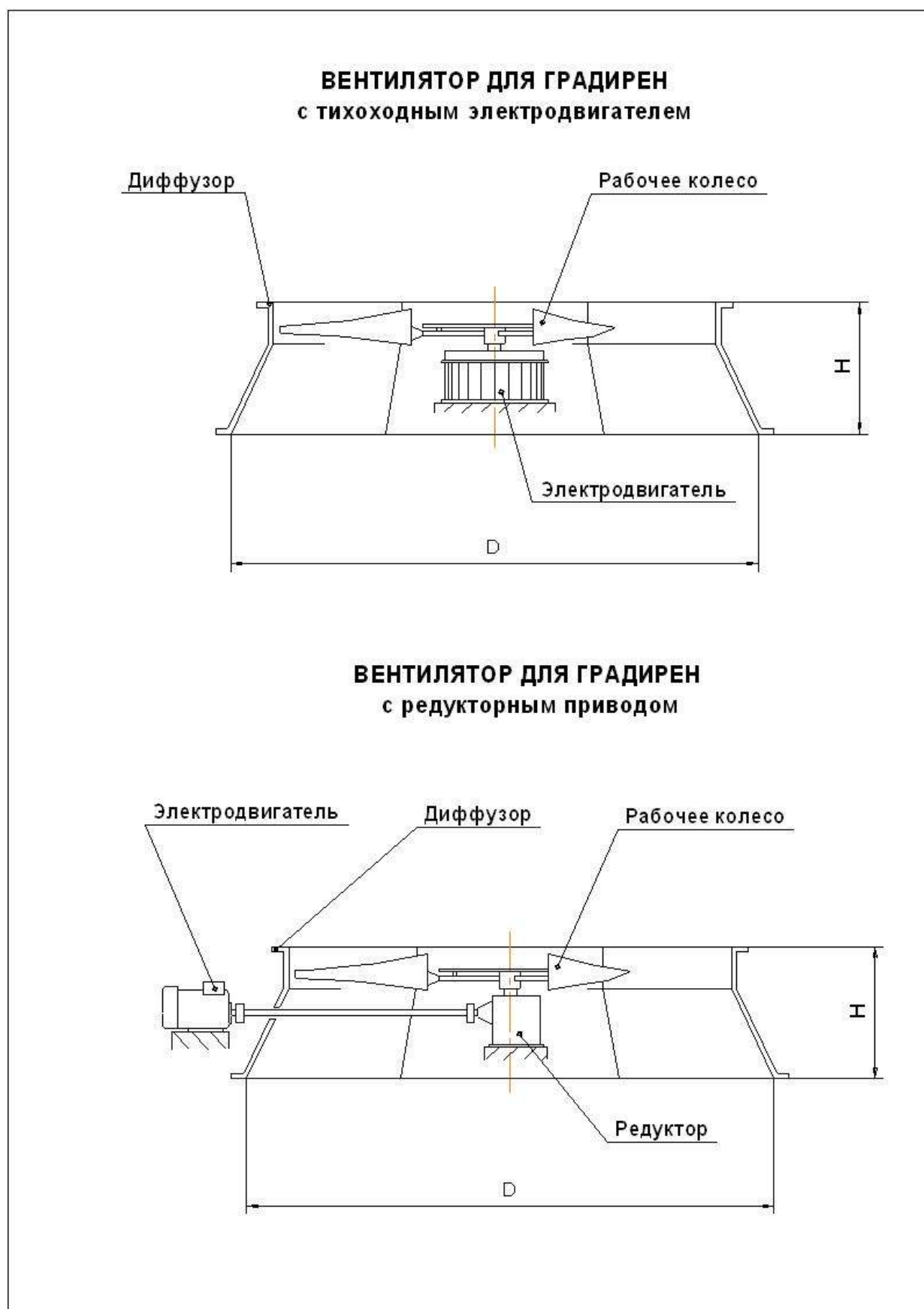


Рис. 3 Вентиляторы для градирен

1.5 Технические характеристики

ВЕНТИЛЯТОРЫ ОСЕВЫЕ ДЛЯ ГРАДИРЕН (с тихоходными электродвигателями)

Основные технические характеристики

Наименование параметров	ВГ25	ВГ50	ВГ70
Производительность, м ³ /с перевести в м³/час	43,3	138,9	305,6
Давление, Па	140	150	160
Диаметр рабочего колеса, мм	2500	5000	7000
Лопастей: тип количество	ОВ-121	ОВ-121	ОВ-121
	3	3	3
Номинальный угол установки, градус	22*	19*	14*
		14*	
Частота вращения рабочего колеса, с ⁻¹	6,09	2,97	2,83
		4,16	
Электродвигатель	BACOM 10-19-16	BACO 14-16-32	BACO 15-23-34
		BACO 2-37-24	2ACBO 710L
Мощность электродвигателя, кВт	11	30	75
		37	
Напряжение сети, В	380	380	380
Частота тока, Гц	50	50	50
Габаритные размеры, мм Н** (высота)	750	1720	2100
D (диаметр)	2920	5900	8400
Масса вентилятора, кг (без заказных изделий)	230	600	1450
Цена, руб.	спец.заказ	спец.заказ	спец.заказ

ВЕНТИЛЯТОРЫ ОСЕВЫЕ ДЛЯ ГРАДИРЕН (с редукторным приводом)

Основные технические характеристики

Наименование параметров	ВГ25-РК	ВГ50-РК	ВГ70-РК
Производительность, м ³ /с перевести в м³/час	43,3	138,9	305,6
Давление, Па	140	150	160
Диаметр рабочего колеса, мм	2500	5000	7000
Лопастей: тип количество	ОВ-121	ОВ-121	ОВ-121
	3	3	3
Лопастей: тип количество	ОВ-121	ОВ-121	ОВ-121
	3	3	3
Номинальный угол установки, градус	22*	14*	14*
Частота вращения рабочего колеса, с ⁻¹	5,89	3,92	2,99
Привод: тип коэффициент передачи	редуктор одноступенчатый конический с гипоидным зацеплением		
	4,1	6,17	5,29
Электродвигатель	АИРМ 132М4	АИР 180М4	4А 280S6
Мощность электродвигателя, кВт	11	30	75
Напряжение сети, В	380	380	380
Частота тока, Гц	50	50	50
Габаритные размеры, мм Н** (высота)	750	1720	2100
D (диаметр)	2920	5900	8400
Масса вентилятора, кг (без заказных изделий)	230	600	1450
Цена, руб.	спец.заказ	спец.заказ	спец.заказ

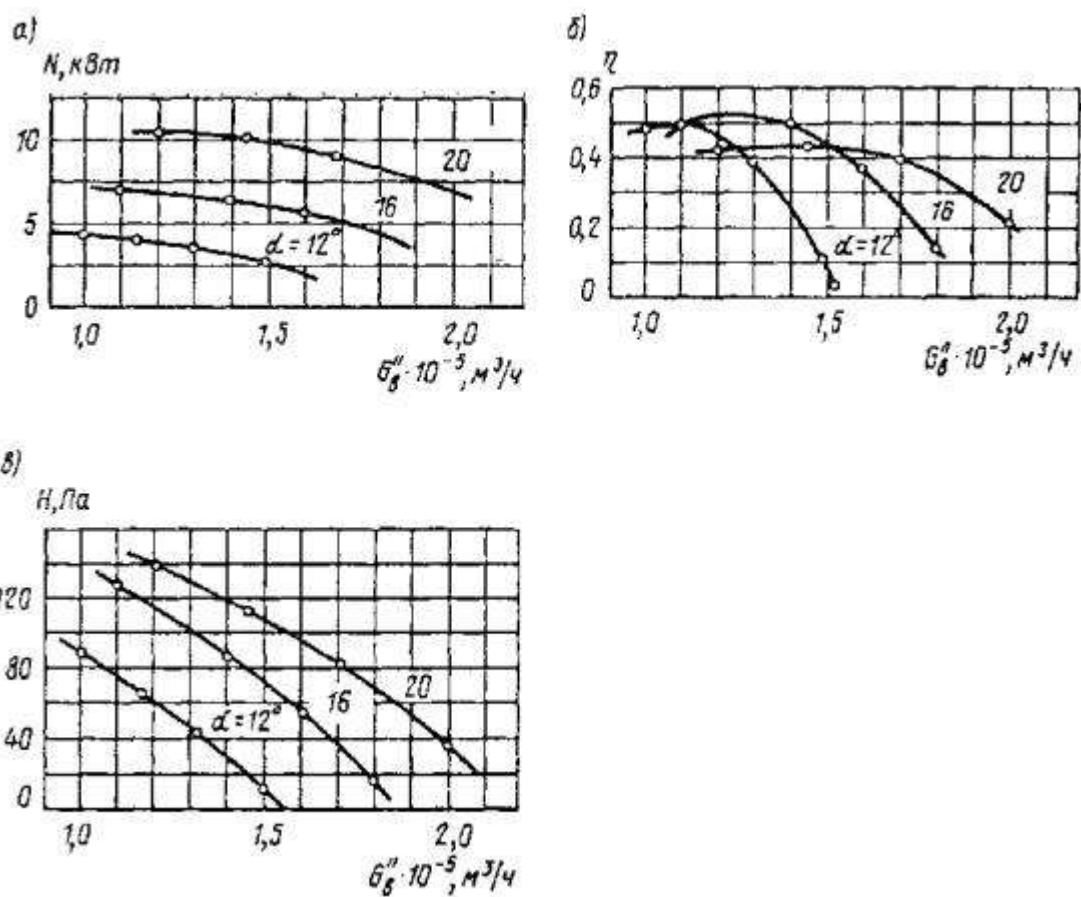
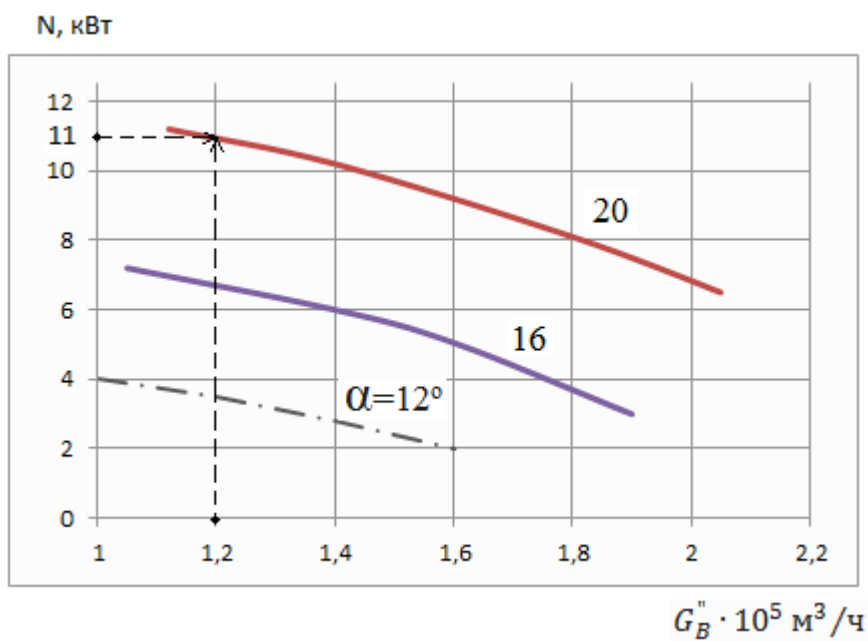


Рис. 4 Аэродинамическая характеристика вентилятора марки 1ВГ 25 [2]

Зависимости:

а - мощности N , б - КПД η ; в - напора H от подачи воздуха вентилятором G_B'' .



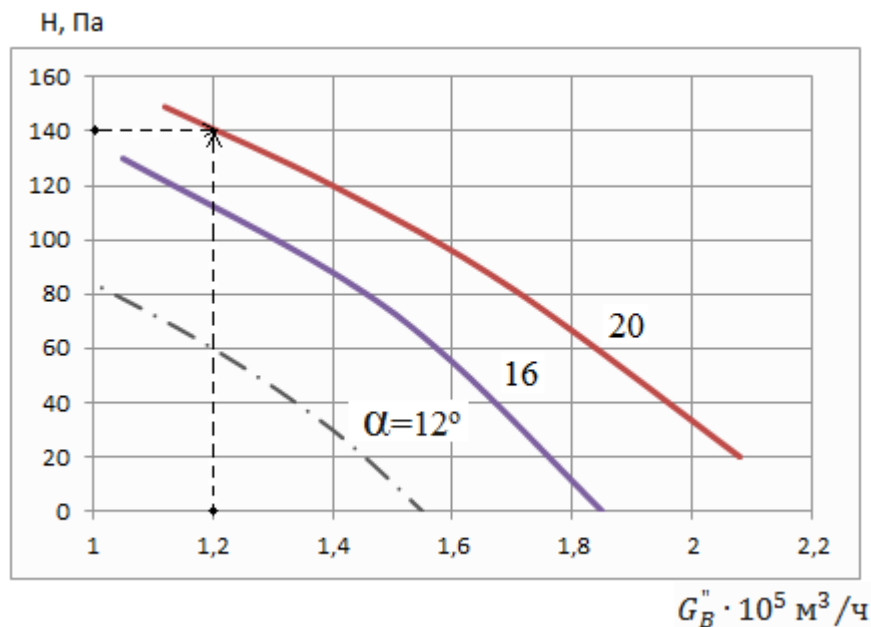


Рис. 4.1 Аэродинамическая характеристика вентилятора марки 1ВГ 25

Здесь мы видим что выбранный нами двигатель АИРМ132М4 11кВт будет выдавать $1,2 \cdot 10^5 \text{ м}^3/\text{час}$ воздуха. А в нашей технической характеристики указывается что производительность данного вентилятора $43,3 \text{ м}^3/\text{с}$.

Переведем это значение в часы и получим:

Эти расчеты показывают что выбранный нами двигатель выдает более чем достаточно воздуха для градирни этого типа.

2. ВЫБОР ПРИВОДНОГО УСТРОЙСТВА

2.1 Паспортные данные электродвигателя АИРМ132М4:

$P_n = 11 \text{ кВт}$ – номинальная мощность двигателя;

$U_{1n} = 380 \text{ В}$ – номинальное линейное напряжение;

$U_{1ф} = 220 \text{ В}$ – фазное напряжение;

$n_0=1500$ об/мин - синхронная частота вращения;

$s_H=3,5$ % – номинальное скольжение двигателя;

$\eta_H=0,875$ – КПД в режиме номинальной мощности (100 %-я нагрузка);

$\cos \varphi_H=0,87$ – коэффициент мощности;

$k_i = \frac{I_n}{I_H}=7,5$ о.е. – кратность пускового тока;

$k_M = \frac{M_n}{M_H}=2$ о.е. – кратность пускового момента;

$k_{max} = \frac{M_K}{M_H}=2,7$ о.е. – кратность максимального момента;

$J_{дв}=0,04$ кг·м² – динамический момент инерции.

2.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя [1]

Синхронная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \frac{рад}{с}.$$

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_{дв.ном} = (1 - s_H) \cdot n_0 = (1 - 0,035) \cdot 1500 = 1447 \frac{об}{мин}$$

или

$$\omega_{дв.ном} = (1 - s_H) \cdot \omega_0 = (1 - 0,035) \cdot 157 = 151,505 \frac{рад}{с}.$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{дв.ном} = \frac{P_{дв.ном} \cdot 10^3}{\omega_{дв.ном}} = \frac{11000}{151,505} = 72,605 \text{ Нм}.$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - p_* \cdot I_{1H} \cdot \frac{1-s_H}{1-p_* \cdot s_H}}{1 - p_* \cdot \frac{1-s_H}{1-p_* \cdot s_H}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{16,755^2 - 0,75 \cdot 21,894 \cdot \frac{1-0,035}{1-0,75 \cdot 0,035}}{1 - 0,75 \cdot \frac{1-0,035}{1-0,75 \cdot 0,035}}} = 5,968 \text{ А},$$

где $I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{11000}{3 \cdot 220 \cdot 0,87 \cdot 0,875} = 21,894 \text{ А}$ – номинальный ток

статора двигателя;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{p*} \cdot \eta_{p*}} = \frac{0,75 \cdot 11000}{3 \cdot 220 \cdot 0,853 \cdot 0,875} = 16,755 \text{ А} – \text{ток статора двигателя}$$

при частичной нагрузке;

$$\eta_{p*} = \eta_H = 0,875 – \text{КПД при частичной нагрузке};$$

$\cos \varphi_{p*} = 0,98 \cdot \cos \varphi_H = 0,98 \cdot 0,87 = 0,853$ – коэффициент мощности при частичной нагрузке;

$$p_* = \frac{P}{P_H} = 0,75 – \text{коэффициент загрузки двигателя};$$

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения. В первом приближении принимаем $\beta=1$ (коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора):

$$s_K = s_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - 1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot k_{\max} - 1}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot k_{\max} - 1} =$$

$$= 0,035 \cdot \frac{2,7 + \sqrt{2,7^2 - 1 - 2 \cdot 0,035 \cdot 1 \cdot 2,7 - 1}}{1 - 2 \cdot 0,035 \cdot 1 \cdot 2,7 - 1} = 0,208 \text{ о.е.}$$

Далее определяем ряд промежуточных коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{5,968}{2 \cdot 7,5 \cdot 21,894} = 1,018;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,035)}{2 \cdot 1,018 \cdot 2,7 \cdot 11000} = 2,317.$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_K} \right) \cdot C_1} = \frac{2,317}{\left(1 + \frac{1}{0,208} \right) \cdot 1,018} = 0,392 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статорной обмотки:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,018 \cdot 0,392 \cdot 1 = 0,399 \text{ Ом.}$$

Определим параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_{\text{к}}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,208^2} - 1^2} = 4,706.$$

Тогда сопротивление короткого замыкания:

$$X_{\text{кн}} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 4,706 \cdot 1,018 \cdot 0,392 = 1,876 \text{ Ом.}$$

Для того, чтобы выделить из индуктивного сопротивления короткого замыкания сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, воспользуемся соотношениями, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X'_{2\sigma} = \frac{0,58 \cdot X_{\text{кн}}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 1,876}{1,018} = 1,069 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 1,876 = 0,788 \text{ Ом.}$$

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

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} - R_1 \cdot I_{1\text{н}}^2 + U_{1\phi} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{н}}} - X_{1\text{н}} \cdot I_{1\text{н}}^2} = \\ &= \sqrt{220 \cdot 0,87 - 0,399 \cdot 21,894^2 + 220 \cdot \sqrt{1 - 0,87^2} - 0,788 \cdot 21,894^2} = 204,181 \text{ В.} \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания определится как:

$$X_{\mu\text{н}} = \frac{E_m}{I_0} = \frac{204,181}{5,968} = 34,212 \text{ Ом.}$$

По найденным значениям C_1 , R'_2 и $X_{\text{кн}}$ определим критическое скольжение:

$$s_{\text{к1}} = \frac{C_1 \cdot R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} = \frac{1,018 \cdot 0,392}{\sqrt{0,399^2 + 1,876^2}} = 0,208.$$

Индуктивность рассеяния статорной обмотки:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,788}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 2,508 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Индуктивность рассеяния роторной обмотки, приведенной к статорной:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{1,069}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 3,402 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Индуктивность ветви намагничивания:

$$L_{\mu H} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{34,212}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,109 \text{ Гн.}$$

T-образная схема замещения асинхронного двигателя для одной фазы приведена на рисунке 5.

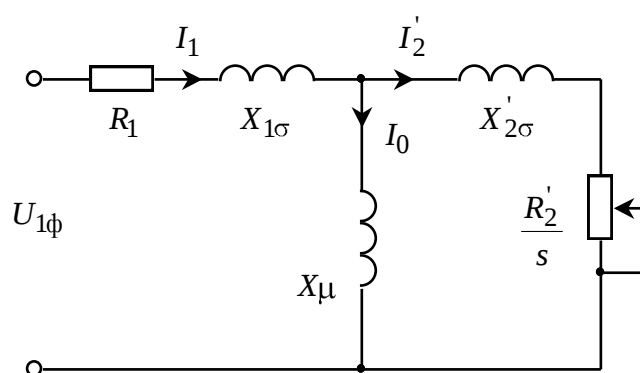


Рисунок 5 – Схема замещения асинхронного двигателя

Параметры схемы замещения сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Параметры схемы замещения электродвигателя

$R_1, \text{Ом}$	$X_{1\sigma}, \text{Ом}$	$L_{1\sigma}, \text{Гн}$	$X_{\mu}, \text{Ом}$	$L_{\mu}, \text{Гн}$	$R'_2, \text{Ом}$	$X'_{2\sigma}, \text{Ом}$	$L'_{2\sigma}, \text{Гн}$	$X_{KH}, \text{Ом}$
0,399	0,788	$2,508 \cdot 10^{-3}$	34,21 2	0,109	0,392	1,069	$3,402 \cdot 10^{-3}$	1,876

2.3 Расчет естественных характеристик двигателя

Для построения естественной механической характеристики двигателя определим критический момент машины в двигательном режиме:

$$M_K = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot C_1 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157 \cdot 1,018 \cdot \left[0,399 + \sqrt{0,399^2 + 1,876^2} \right]} = 195,934 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Задаваясь диапазоном скольжения от 1 до 0, строим механическую характеристику асинхронного двигателя по формуле Клосса:

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_K \cdot 1 + a \cdot s_K}{\frac{s_K}{s} + \frac{s}{s_K} + 2 \cdot a \cdot s_K},$$

где $a = \frac{R_1}{R'_2} = \frac{0,399}{0,392} = 1,018$.

Значения по оси скорости рассчитываются по выражению:

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

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя представлена на рисунке 6.

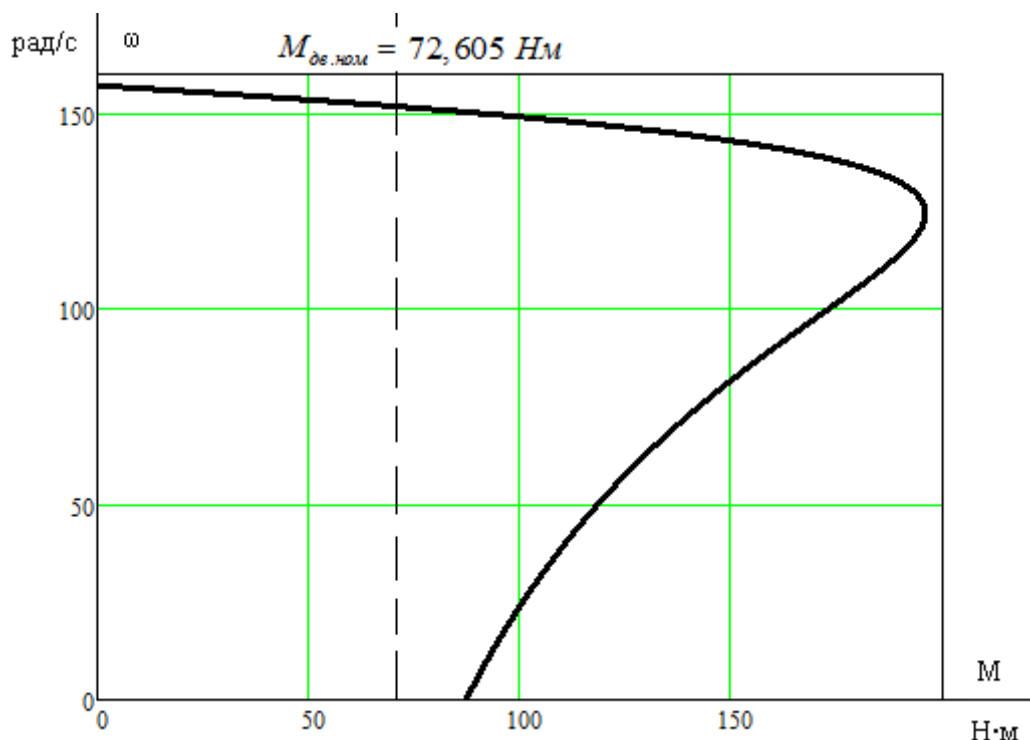


Рисунок 6 – Естественная механическая характеристика двигателя

Электромеханическая характеристика асинхронного двигателя представляет собой зависимость тока статора от скорости. Полагая ток намагничивания I_0 реактивным ($I_{0A}=0$), ток статора I_1 через приведенный ток ротора можно найти по формуле:

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

где

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{KH}^2}};$$

$$\sin \varphi_2(\omega) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{KH}^2}}.$$

Задаваясь диапазоном изменения скорости от 0 до ω_0 , строим электромеханическую характеристику асинхронного двигателя по формулам для токов обмоток статора и ротора.

Естественная электромеханическая характеристика двигателя приведена на рисунке 7.

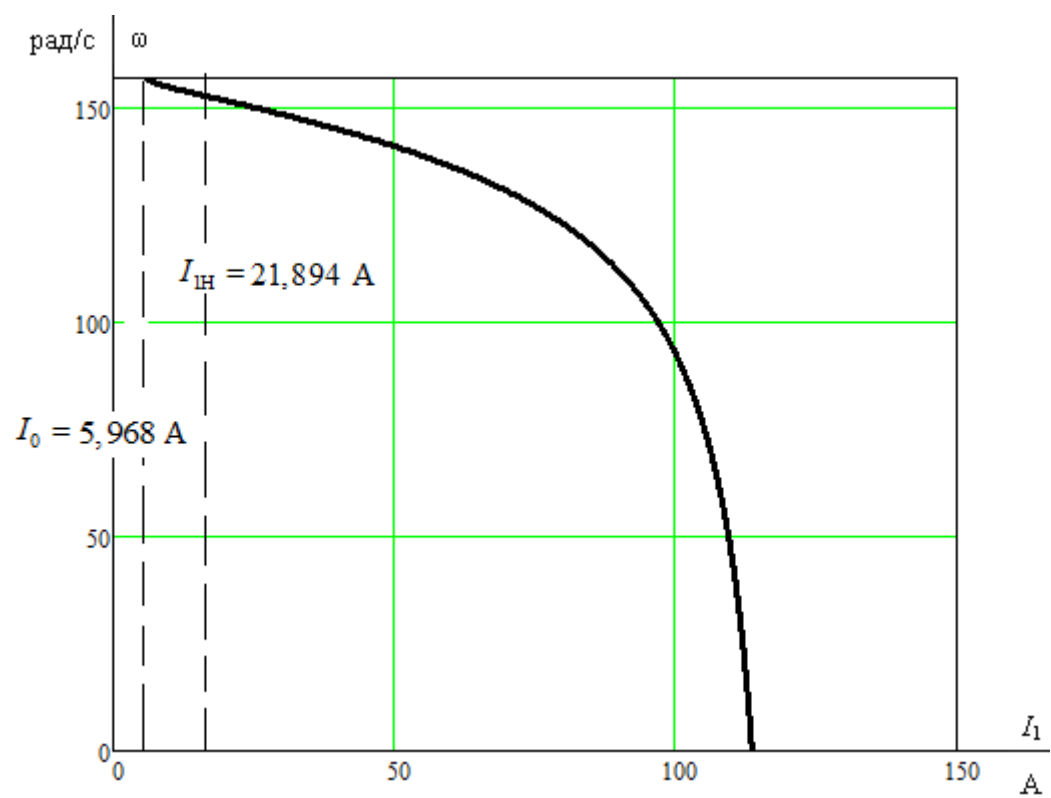


Рисунок 7 – Естественная электромеханическая характеристика двигателя

2.4 Выбор преобразователя частоты

По номинальным мощности и току асинхронного двигателя выбираем преобразователь частоты серии Triol AT24 HVAC типа AT24-11K-380-2, предназначенный для управления электродвигателями вентиляторов, компрессоров, насосов. Технические характеристики преобразователя представлены в таблице.

Таблица – Технические характеристики преобразователя частоты Triol AT24 HVAC

Серия	AT24	Точность поддержания скорости (статическая)	+/- 0,01 % номинальной скорости в замкнутой системе; +/- 10 % номинальной скорости в разомкнутой системе
Тип продукта	Преобразователь частоты применения HVAC	Точность крутящего момента	+/- 5 % в замкнутой системе; +/- 10 % в разомкнутой системе
Линия	2 (HVAC)	Характеристики перегрузки	150 % - 2 секунды, 120 % - 60 секунд при окружающей температуре не более 50 °C
Имя устройства	Триол AT24-***-380-2*****	Способ управления АД	- Векторное управление в замкнутой системе с обратной связью по скорости; - Векторное управление в разомкнутой системе без обратной связи по скорости; - Управление соотношением напряжение/частота U/F (скалярное управление);
Назначение изделия	Асинхронные и вентильные двигатели	Метод регулирования поддерживаемых параметров	ПИД регулятор
Напряжение	3x380 (-15 % ..+10	Компенсация	Реализовано в

питания	%)	скольжения	режиме скалярного управления двигателем
Частота питания	50 Гц (-15 % ..+10 %)	Локальная сигнализация	Работа, готовность, авария — зеленый, желтый и красный светодиоды соответственно
Фильтр ЭМС	Встроенный	Изоляция	Изолированы цепи управления изолированы пользовательские цепи
Дроссель ЗПТ	Встроенный	Питание	10 В DC, +/- 2 % ток не более 30 мА, 24 В, 300 мА
Вариант пульта	Графический дисплей, 160X160 точек, диагональ 3"	Количество аналоговых входов	2
Корпус	Пластиковый, IP20	Типы аналоговых входов	Программируемые 4..20 мА, 0..5 мА, 0..10 В
Дискретность изменения частоты задания	0,1 Гц	Период дискретизации	4 мс
Частота на выходе	0..400 Гц	Количество аналоговых выходов	1
Тормозной резистор	Внешний	Тип аналогового выхода	Программируемый 4..20 мА, 0..5 мА, 0..10 В
Частота ШИМ/ Базовая частота ШИМ	2 - 10 кГц/ 5 кГц	Количество дискретных выходов	4 релейных выходов
Коэффициент мощности	> 0,95	Тип дискретного выхода	2 выхода переключающего типа 2 выхода нормально разомкнутого типа
Диапазон скорости	1:1000 в замкнутой системе с импульсным датчиком скорости; 1:100 в разомкнутой системе	Количество дискретных входов	8

Таблица - Параметры преобразователя частоты Triol AT24-11K-380-2

Тип Триол AT24	Номинальная мощность двигателя, кВт	Номинальный ток силовой цепи, А	Полная выходная мощность ПЧ, кВА
11K	11	22	15



Рисунок 8 - Внешний преобразователей частоты Triol AT24 HVAC

2.5 Расчет статических характеристик системы преобразователь-двигатель

Для нелинейно возрастающей вентиляторной нагрузки выбираем закон регулирования $U/f^2 = \text{const}$.

Частоты регулирования: $f_{1H}=50$ Гц; $f_{11}=40$ Гц; $f_{12}=30$ Гц; $f_{13}=25$ Гц; $f_{14}=20$ Гц; $f_{15}=15$ Гц; $f_{16}=10$ Гц; $f_{17}=5$ Гц.

Коэффициент пропорциональности для заданного закона регулирования:

$$K = \frac{U_{1H}}{f_{1H}^2} = \frac{220}{50^2} = 0,088.$$

Напряжения, соответствующие заданным частотам регулирования:

$$U_{11} = K \cdot f_{11}^2 = 0,088 \cdot 40^2 = 140,8 \text{ В}; \quad U_{12} = K \cdot f_{12}^2 = 0,088 \cdot 30^2 = 79,2 \text{ В};$$

$$U_{13} = K \cdot f_{13}^2 = 0,088 \cdot 25^2 = 55 \text{ В}; \quad U_{14} = K \cdot f_{14}^2 = 0,088 \cdot 20^2 = 35,2 \text{ В};$$

$$U_{15} = K \cdot f_{15}^2 = 0,088 \cdot 15^2 = 19,8 \text{ В}; \quad U_{16} = K \cdot f_{16}^2 = 0,088 \cdot 10^2 = 8,8 \text{ В};$$

$$U_{17} = K \cdot f_{17}^2 = 0,088 \cdot 5^2 = 2,2 \text{ В};$$

Относительные частоты питающего напряжения:

$$f_{11*} = \frac{f_{11}}{f_{1H}} = \frac{40}{50} = 0,8; \quad f_{12*} = \frac{f_{12}}{f_{1H}} = \frac{30}{50} = 0,6.$$

$$f_{13*} = \frac{f_{13}}{f_{1H}} = \frac{25}{50} = 0,5; \quad f_{14*} = \frac{f_{14}}{f_{1H}} = \frac{20}{50} = 0,4.$$

$$f_{15*} = \frac{f_{15}}{f_{1H}} = \frac{15}{50} = 0,3; \quad f_{12*} = \frac{f_{16}}{f_{1H}} = \frac{10}{50} = 0,2.$$

$$f_{17*} = \frac{f_{17}}{f_{1H}} = \frac{5}{50} = 0,1.$$

Синхронные скорости вращения двигателя, соответствующие заданным частотам регулирования:

$$\omega_{011} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{11}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 40}{2} = 125,664 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$\omega_{012} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{12}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 30}{2} = 94,248 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$\omega_{013} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{13}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 25}{2} = 78,54 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$\omega_{014} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{14}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 20}{2} = 62,832 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$\omega_{015} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{15}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 15}{2} = 47,124 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$\omega_{016} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{16}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 10}{2} = 31,416 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$\omega_{017} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{17}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 5}{2} = 15,708 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Механическая характеристика асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания определяется выражением:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R'_2}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'}{s \cdot X_{\mu\text{н}} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]}.$$

Электромеханическая характеристика асинхронного двигателя по при переменных значениях величины и частоты напряжения питания определяется по формуле:

$$I_1(s) = \sqrt{I_{0j}^2 + I_2'(s)^2 + 2 \cdot I_{0j} \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)},$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\Phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}}\right)^2}};$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{KH} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2}};$$

Так как с изменением частоты и напряжения статора тока холостого хода изменяется, то его значение для каждой из частот определяется по выражению:

$$I_{0j} = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + X_{1H}^2 + X_{\mu H}^2 \cdot f_{1*}^2}}.$$

Пересчет скольжения s на угловую скорость производится в соответствии с выражением:

$$\omega(s) = \omega_{0j} \cdot (1 - s).$$

Механическая характеристика вентиляторной нагрузки рассчитывается по выражению:

$$M_c(\omega) = \Delta M_c + \left(\frac{M_{\text{дв.н}}}{\omega_{\text{дв.н}}^2} \right) \cdot \omega^2 = 7,26 + \left(\frac{72,605}{151,505^2} \right) \cdot \omega^2 = 7,26 + 0,003 \cdot \omega^2,$$

где $\Delta M_c = 0,1 \cdot M_{\text{дв.н}} = 0,1 \cdot 72,605 = 7,26 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – момент от сил трения вентилятора на валу двигателя.

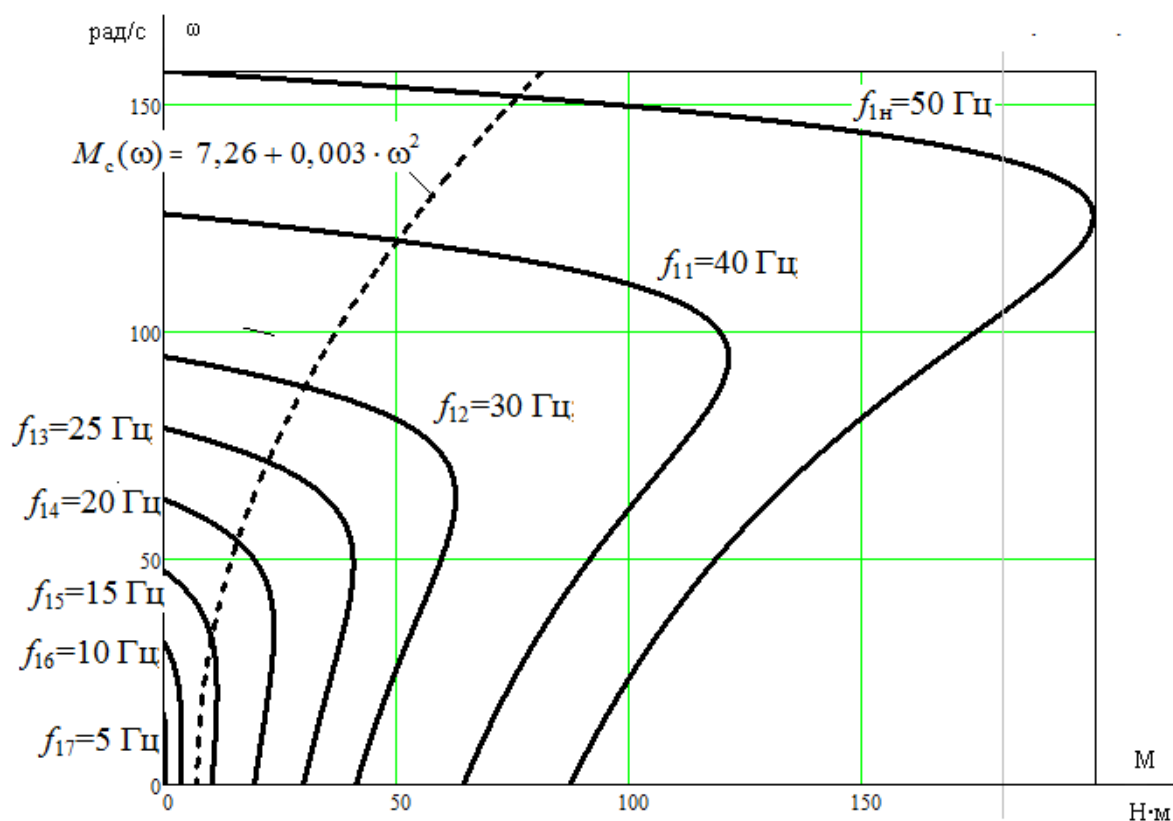


Рисунок 9 – Механические характеристики двигателя АИРМ132М4 при законе регулирования $U/f^2 = \text{const}$

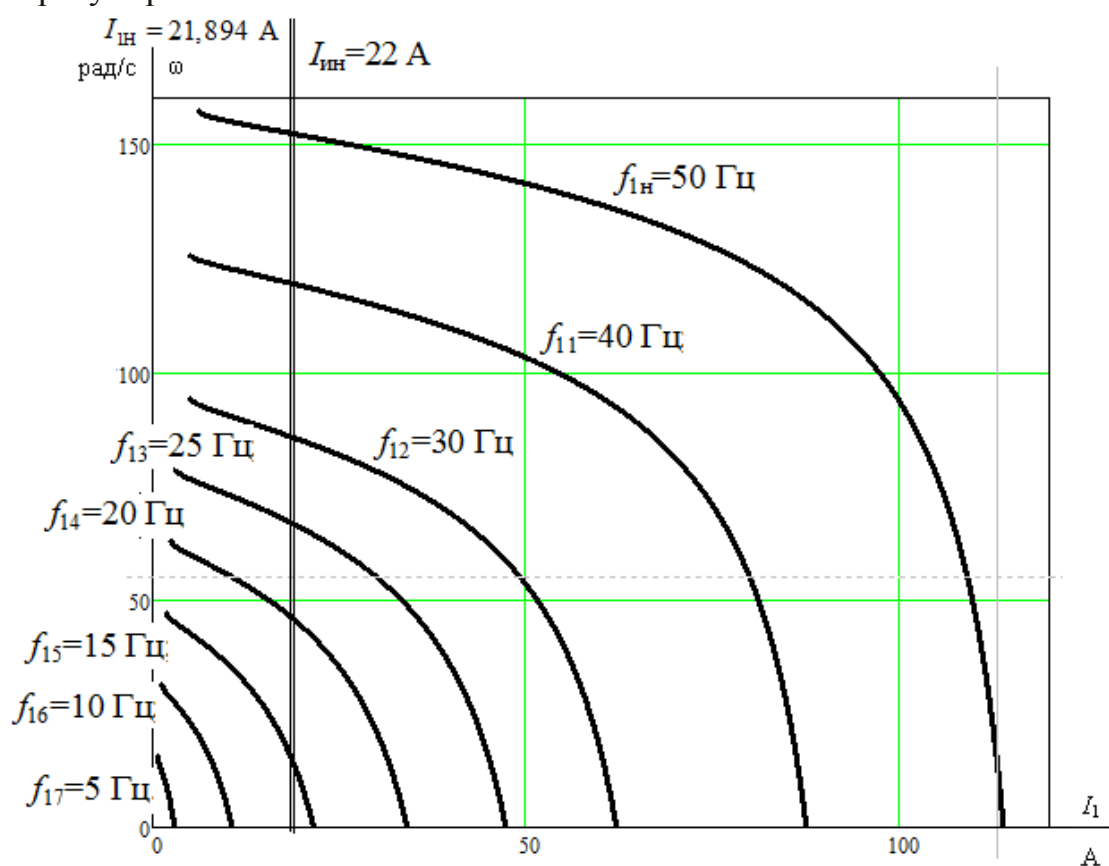


Рисунок 10 – Электромеханические характеристики двигателя АИРМ132М4 при законе регулирования $U/f^2 = \text{const}$

2.6 Моделирование прямого пуска асинхронного двигателя

При исследовании динамики АД принимаем ряд допущений:

- 1) параметры обмоток всех фаз имеют одинаковые значения, т.е. имеет место симметричный режим работы;
- 2) магнитное поле электрической машины имеет синусоидальное распределение вдоль воздушного зазора;
- 3) не учитываются потери в стали, вызываемые протеканием вихревых токов в магнитопроводе двигателя и его перемагничиванием;
- 4) не учитывается насыщение магнитной цепи АД;
- 5) эффект вытеснения токов в проводниках ротора пренебрежимо мал.

Структурная схема модели асинхронного двигателя в неподвижной системе координат представлена на рисунке 11.

Полная индуктивность цепи статора:

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_\mu = 0,002508 + 0,109 = 0,111 \text{ Гн};$$

Полная индуктивность цепи ротора:

$$L_2 = L'_{2\sigma} + L_\mu = 0,003402 + 0,109 = 0,112 \text{ Гн}.$$

Коэффициенты структурной схемы:

$$K_r = \frac{L_\mu}{L'_2} = \frac{0,109}{0,112} = 0,97;$$

$$L_e = L_1 - \frac{L_\mu^2}{L'_2} = 0,111 - \frac{0,109^2}{0,112} = 0,0058 \text{ Гн};$$

$$R_e = R_1 + R'_2 \cdot K_r^2 = 0,399 + 0,392 \cdot 0,97^2 = 0,767 \text{ Ом};$$

$$A_r = \frac{R'_2}{L'_2} = \frac{0,392}{0,112} = 3,5.$$

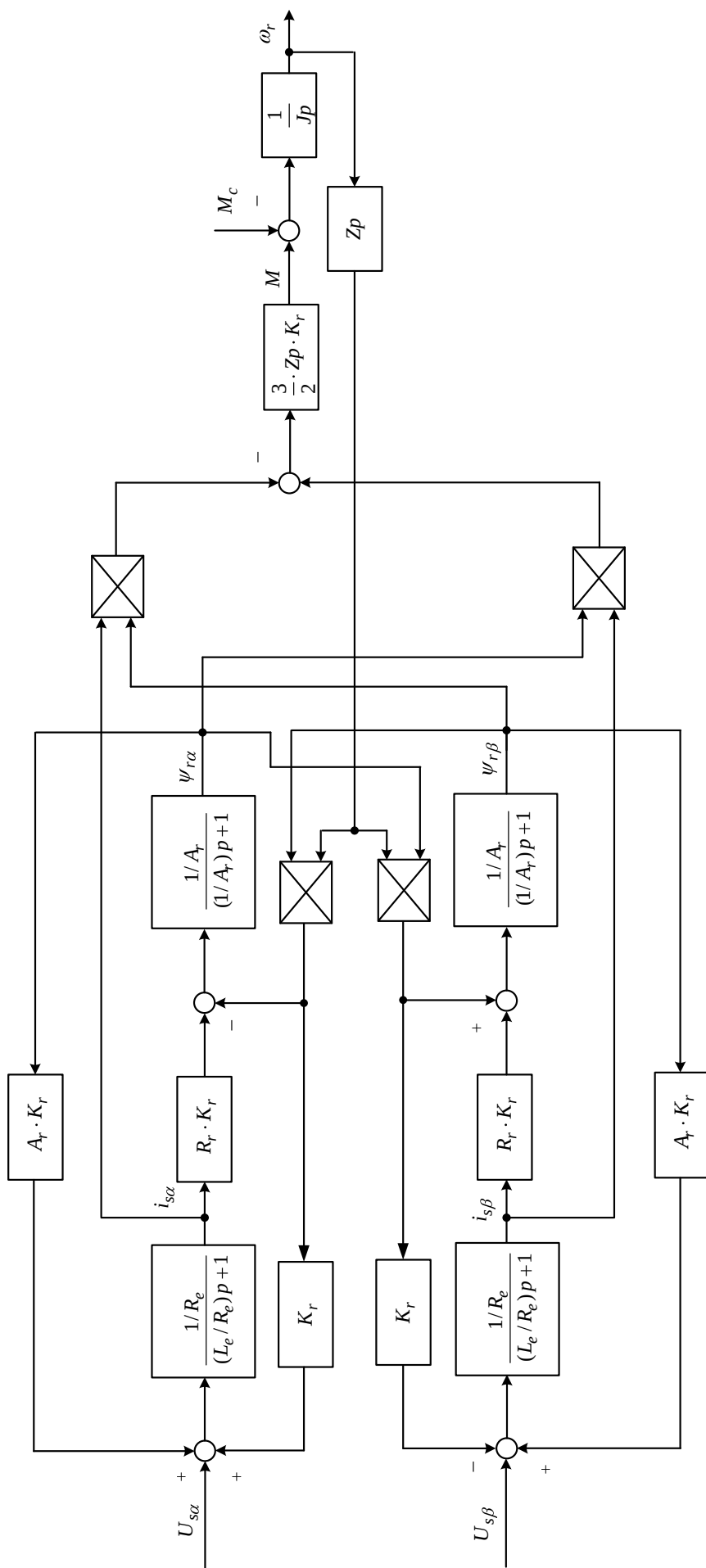


Рисунок 11 – Структурная схема модели асинхронного двигателя в неподвижной системе координат

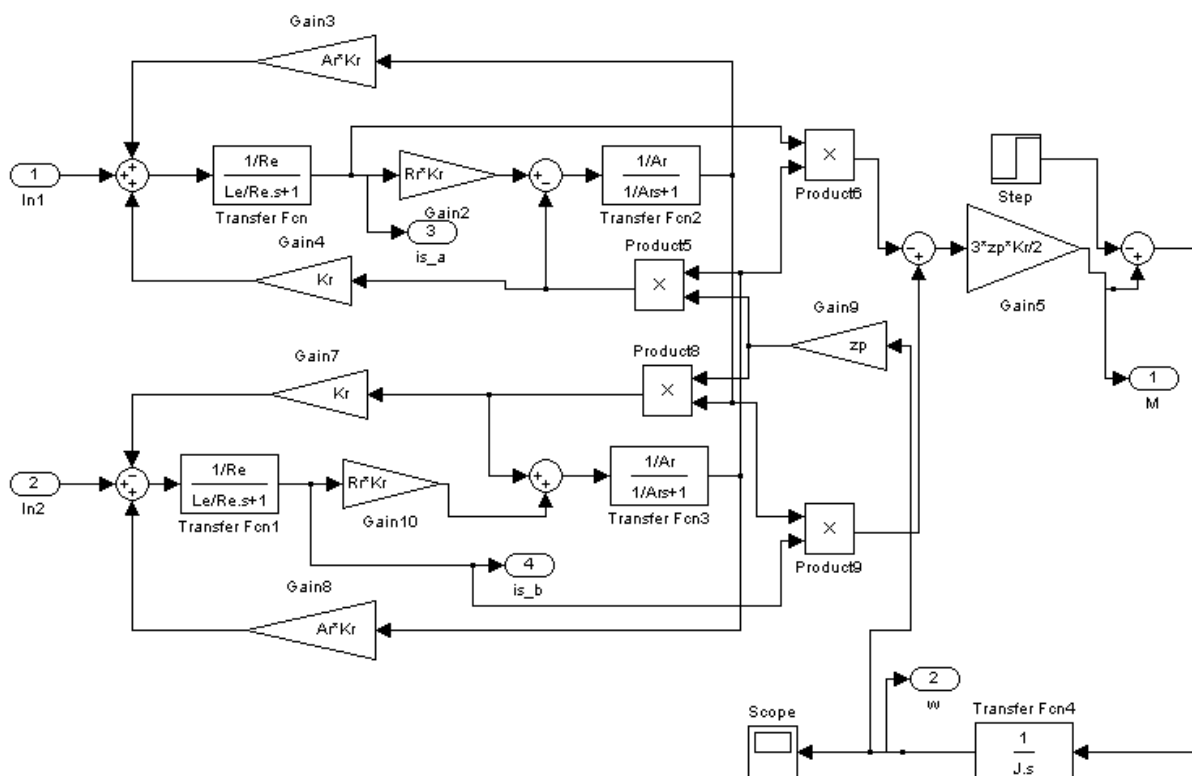


Рисунок 12 – Имитационная модель асинхронного двигателя в неподвижной системе координат в программной среде MATLAB Simulink

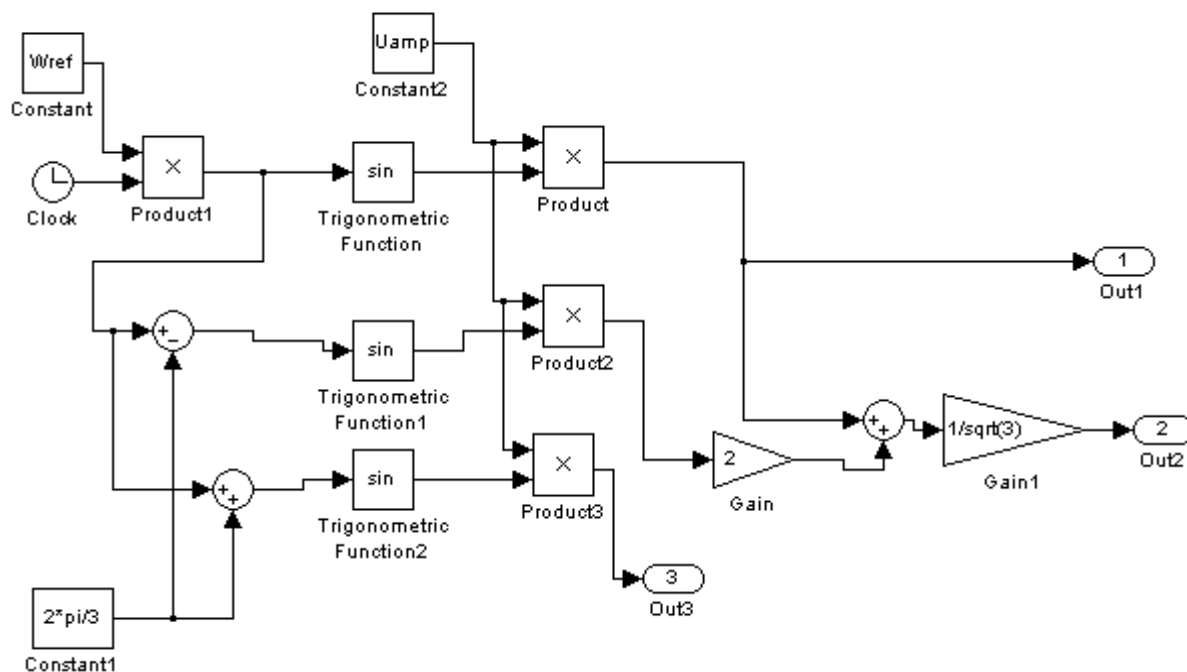


Рисунок 13 – Имитационная модель подсистемы «Source», представляющей собой источник синусоидальных напряжений, сдвинутых на 90^0 относительно друг друга

3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

3.1 Моделирование прямого пуска электродвигателя с частотным законом управления $U/f^2 = \text{const}$

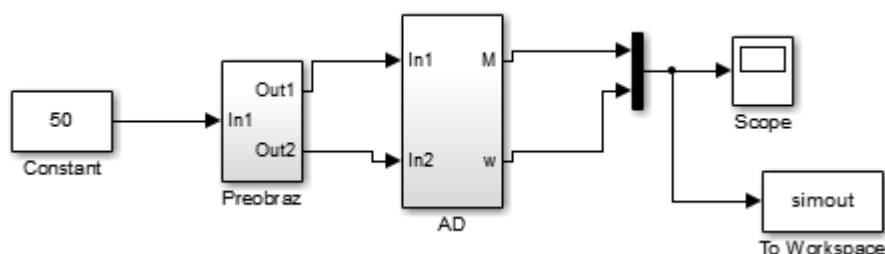


Рисунок 14 – Имитационная модель силового канала электропривода

Схема набора имитационной модели двухфазного преобразователя частоты, представленного подсистемой «Preobraz» представлена на рисунке.

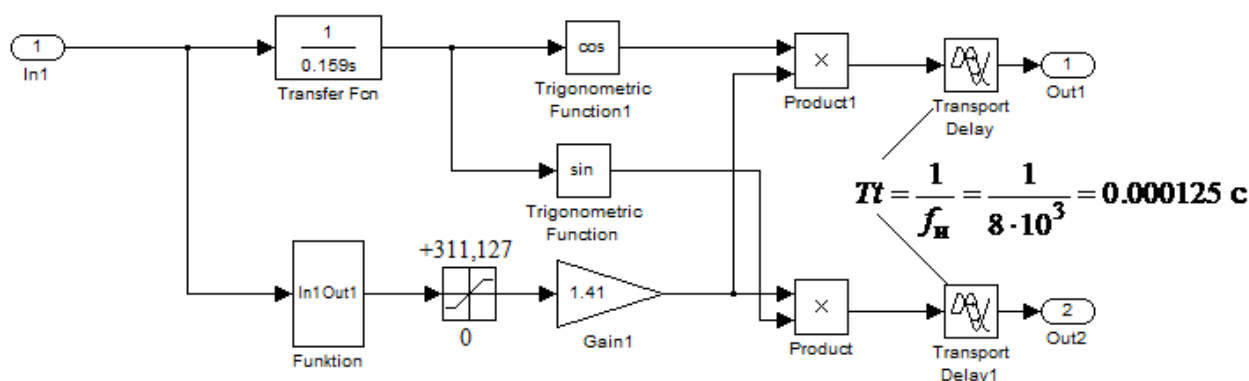


Рисунок 15 – Схема набора имитационной модели двухфазного преобразователя частоты

Подсистема «Funktion» реализует математическую функцию

$$U_{1\phi n} \cdot \frac{f_1}{f_{1n}^2} = 220 \cdot \frac{x}{50^2}$$

– при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$.

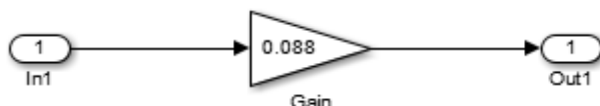


Рисунок 16–Подсистема «Funktion» при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Модель двухфазного асинхронного электродвигателя с вентиляторной нагрузкой в неподвижной системе координат представлена в подсистеме «AD».

В подсистеме «Reaktivnaja nagruzka» организована реактивная нагрузка.

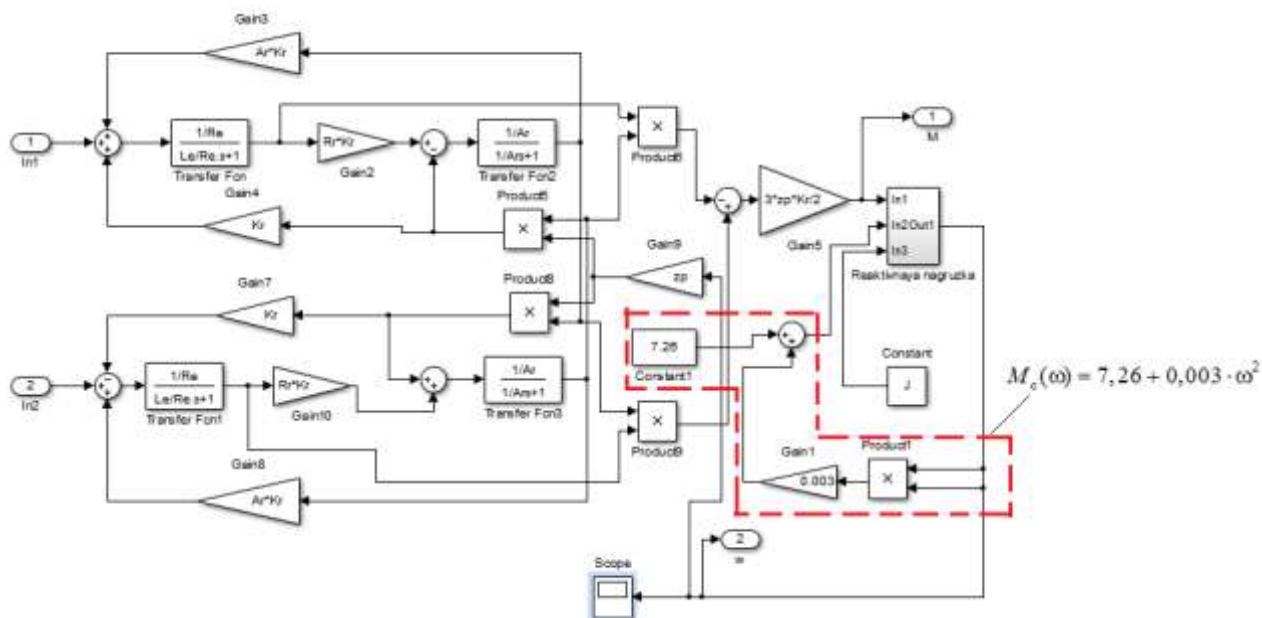


Рисунок 17 – Подсистема «AD»

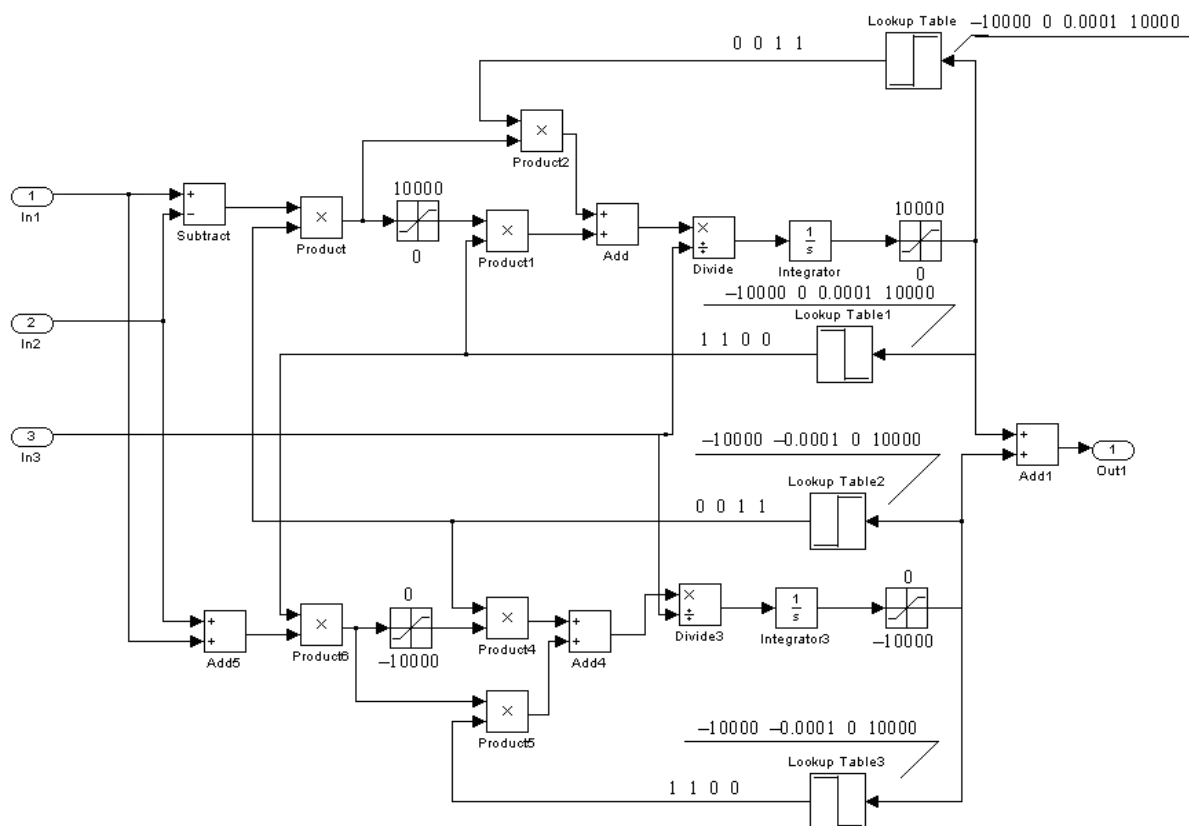


Рисунок 18 – Подсистема «Reaktivnaja nagruzka»

Приведенный к валу эквивалентный момент инерции электропривода:

$$J_{\text{э}} = 2,5 \cdot J_{\text{дв}} = 2,5 \cdot 0,04 = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

```
%Параметры двигателя
f=50;
Rs=0.399;
Rr=0.392;
Ls_=0.788/(2*pi*f);
Lr_=1.069/(2*pi*f);
Lm=34.212/(2*pi*f);
p=4;
J=0.1;
Ls=Ls_+Lm;
Lr=Lr_+Lm;
zp=p/2;
Kr=Lm/Lr;
Re=Rs+Rr*Kr^2;
Le=Ls-Lm^2/Lr;
Uamp=220*sqrt(2);
Ar=Rr/Lr;
Wref=2*pi*f;
```

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

Результаты имитационных исследований прямого пуска электродвигателя при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и значений частоты $f_{11} = 25 \text{ Гц}$ и $f_{12} = 10 \text{ Гц}$ приведены, соответственно, на рисунках 19-22.

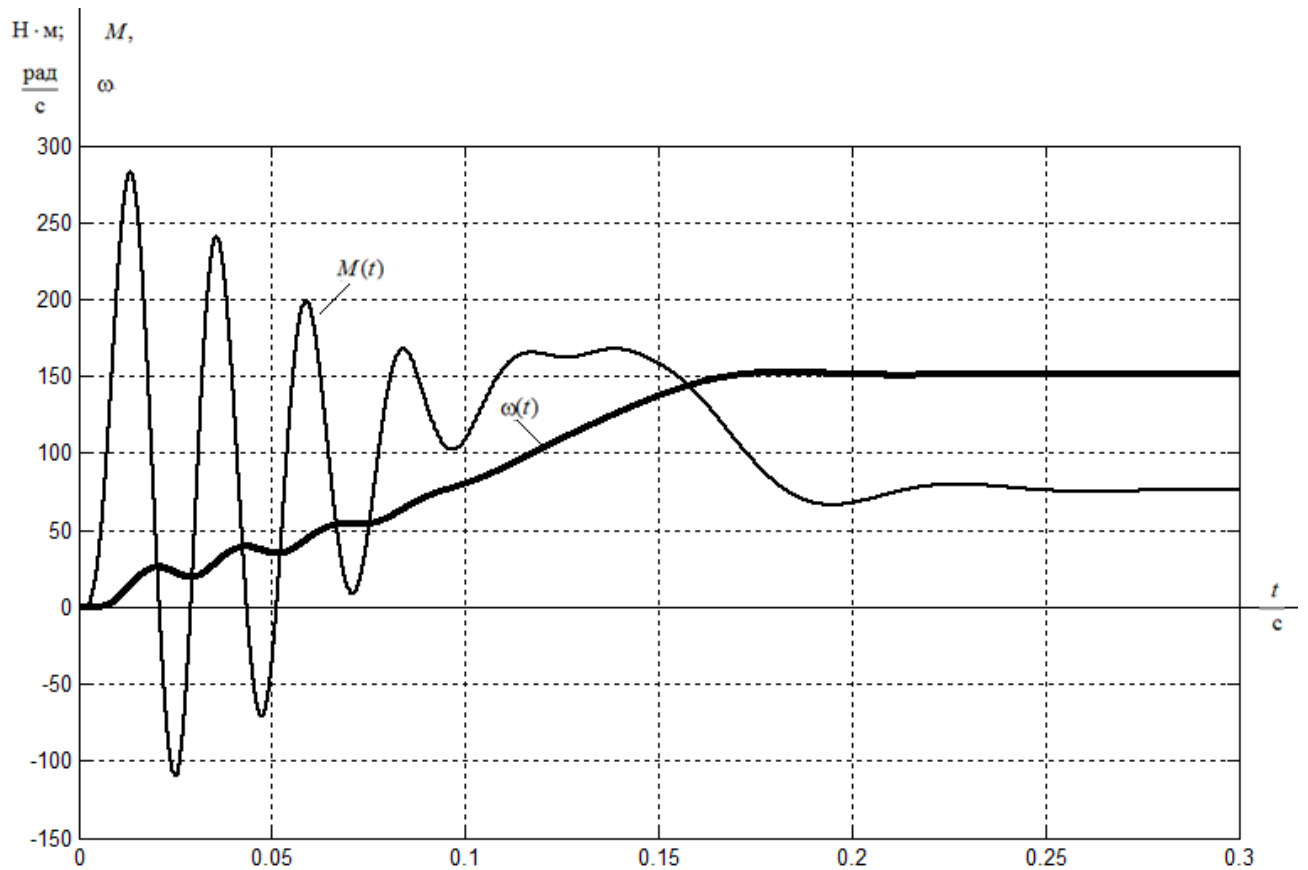


Рисунок 19 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при значении частоты $f = 50$ Гц

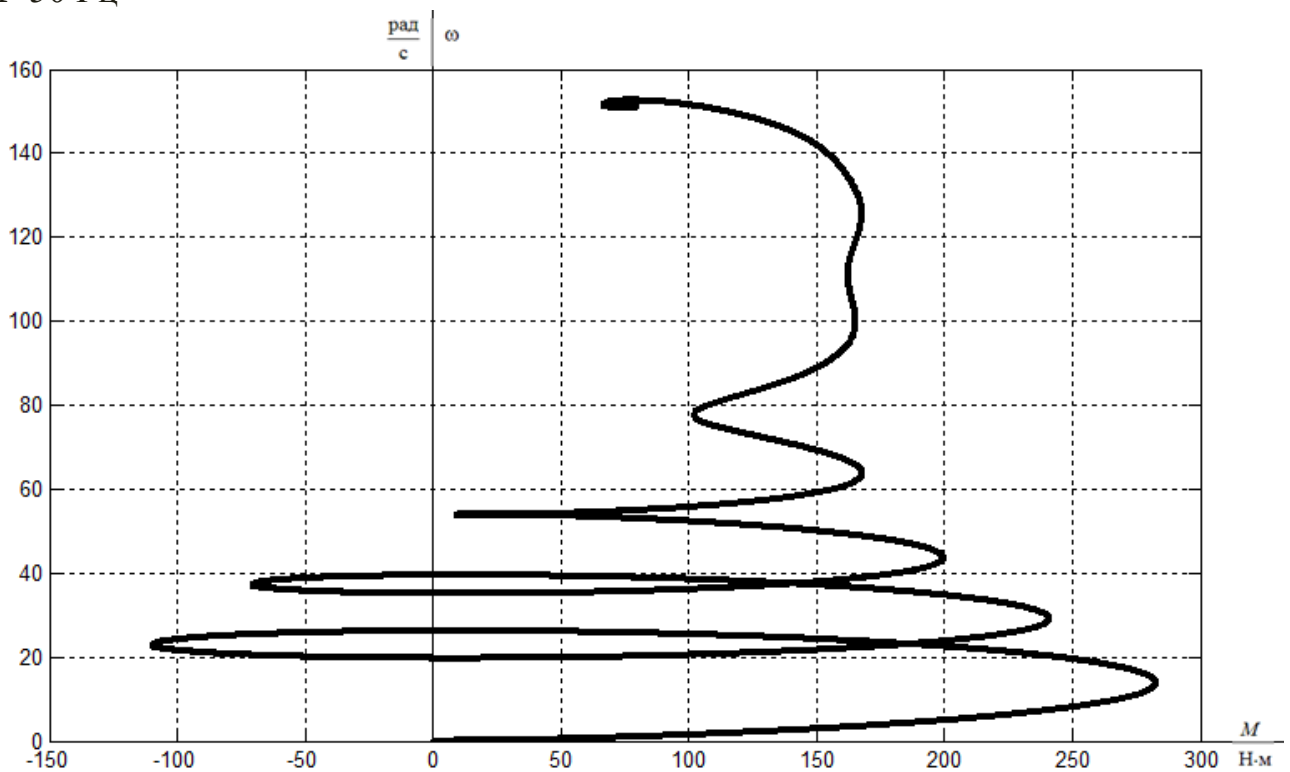


Рисунок 20 – Динамическая механическая характеристика при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при значении частоты $f = 50$ Гц

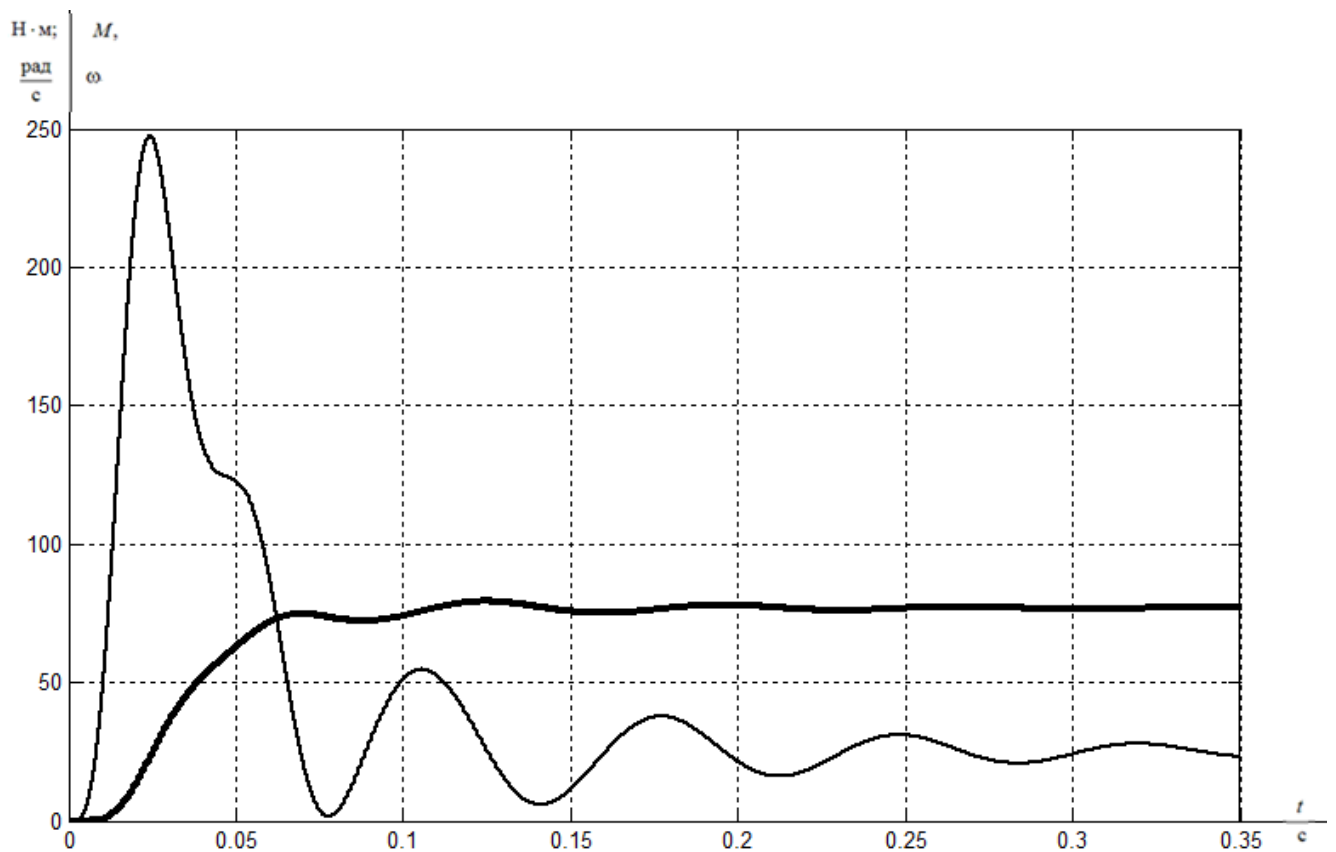


Рисунок 21 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при значении частоты $f = 25$ Гц

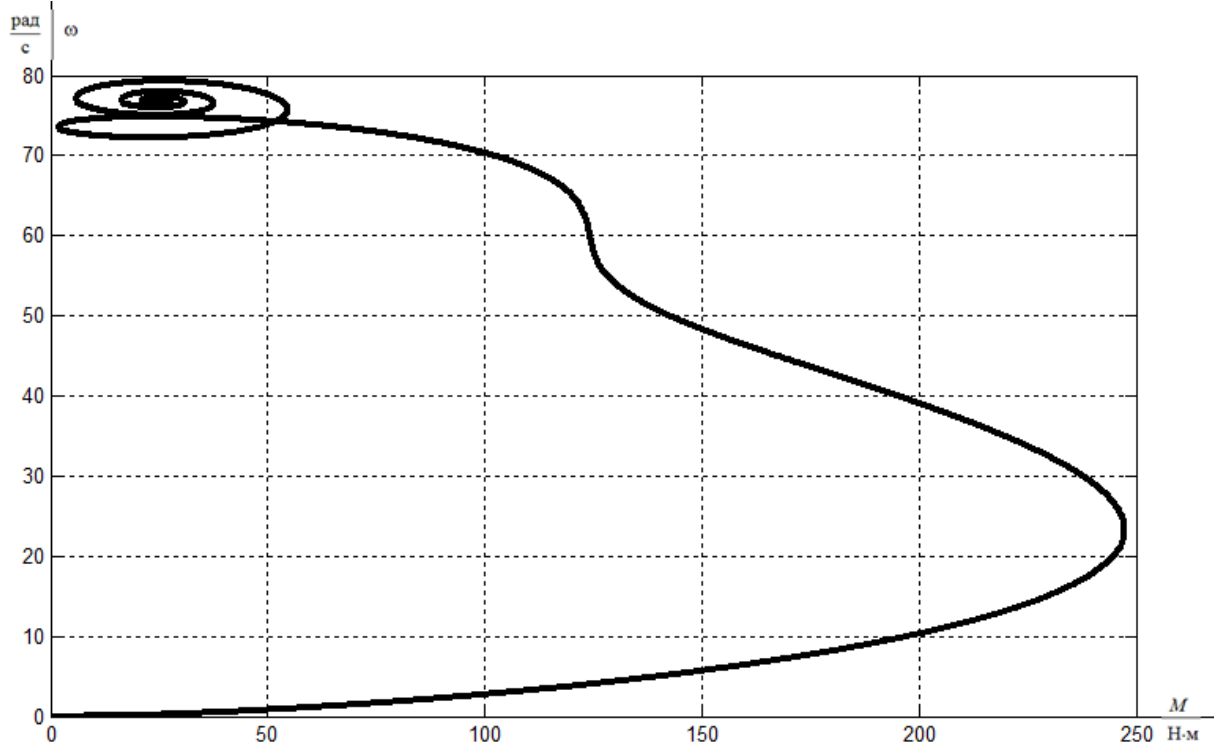


Рисунок 22 – Динамическая механическая характеристика при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при значении частоты $f = 25$ Гц

Выводы.

- Прямой пуск электродвигателя в системе преобразователь частоты-асинхронный двигатель с законом регулирования $U/f^2 = \text{const}$ характеризуется значительными колебаниями электромагнитного момента двигателя и большими значениями пускового момента и тока статора.
- Перегрузки по току и моменту с одной стороны могут быть недопустимы для отдельных элементов привода (например, по току для преобразователя), а с другой стороны в любом случае неблагоприятно скажутся на электродвигателе, преобразователе и механизме вентилятора и приведут к сокращению срока их службы.
- Фактические перегрузки при прямом пуске двигателя могут быть еще больше из-за неточности принятой в расчетах модели асинхронного двигателя и её параметров в области работы с большими значениями скольжения двигателя.
- Полученные результаты прямого пуска электродвигателя показывают, что прямой пуск приводного двигателя не позволит получить удовлетворительного качества переходные процессы и определяют необходимость организации плавного пуска с ограничением величины и улучшением характера временной зависимости динамического момента электропривода.

3.2 Имитационная модель задатчика интенсивности с s-образной характеристикой

Имитационная модель электропривода со скалярным управлением и задатчиком интенсивности представлена на рисунке 24.

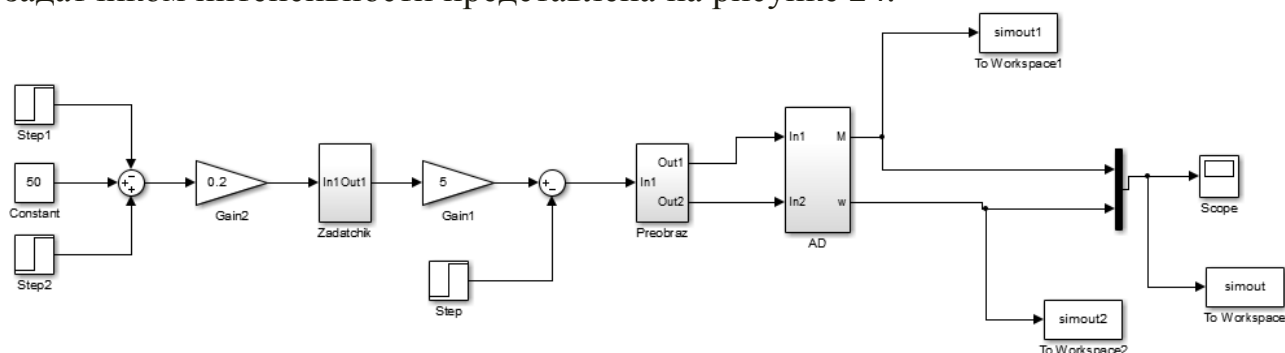


Рисунок 24 – Имитационная модель электропривода с задатчиком интенсивности

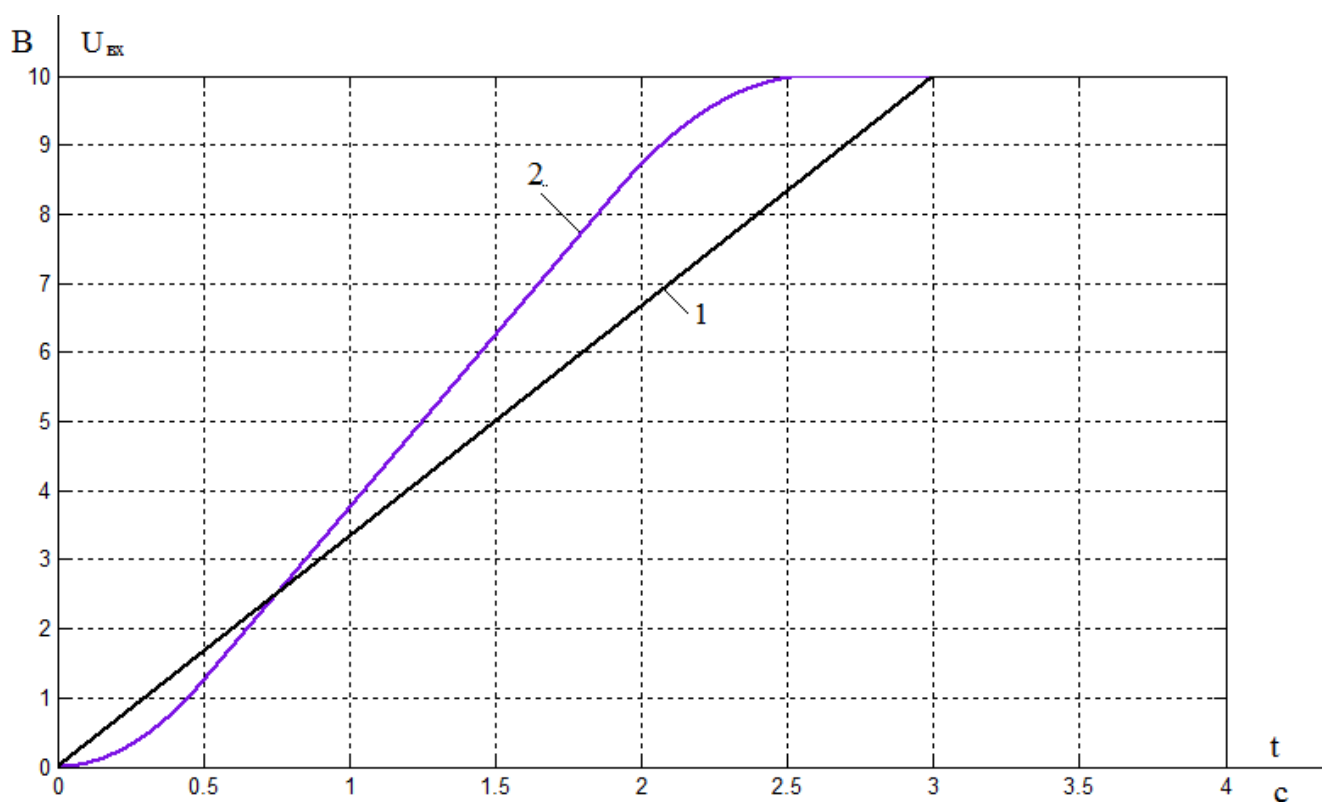


Рисунок 25 – Напряжения линейного (1) и S-образного (2) задатчиков интенсивности при времени разгона $t_p=3$ с

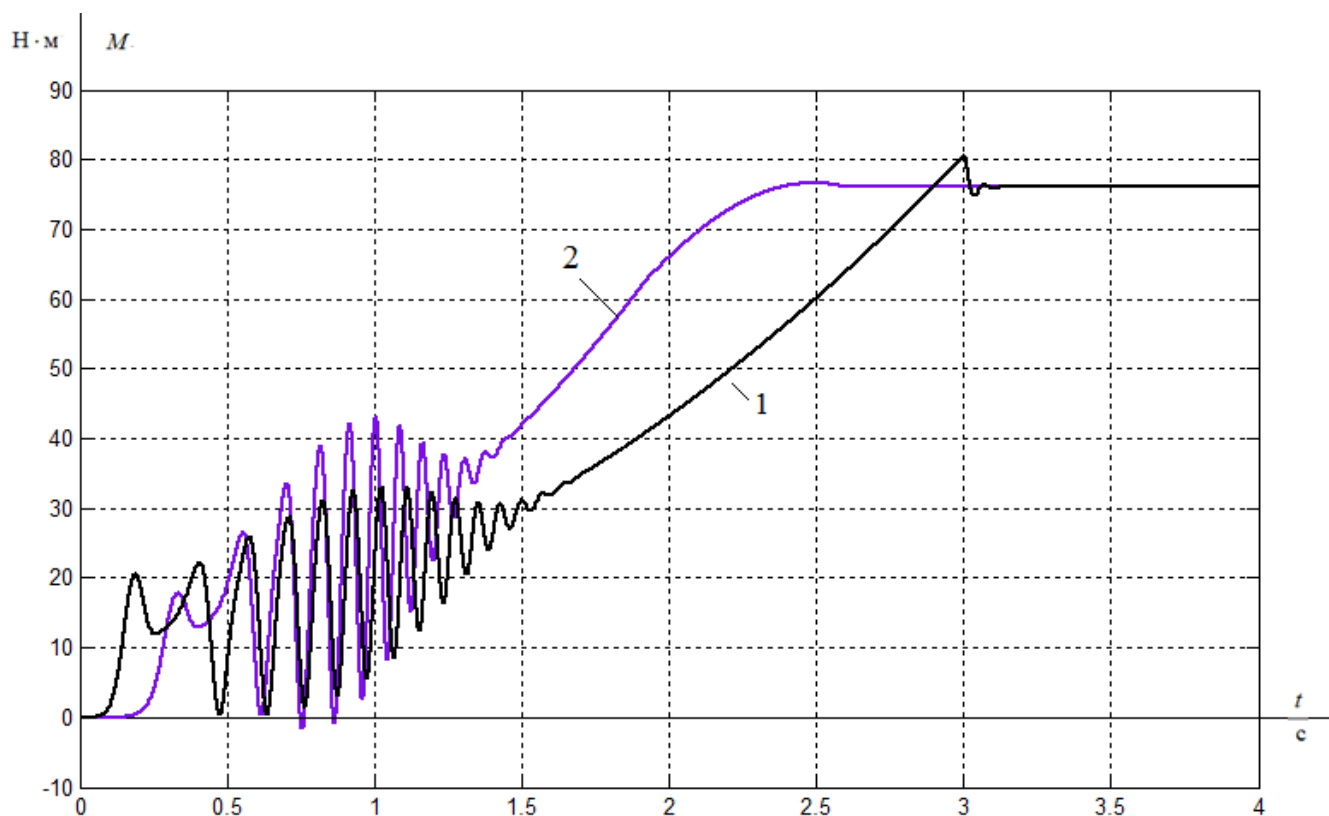


Рисунок 26 – Переходные процессы электромагнитного момента двигателя при пуске с линейным (1) и S-образным (2) задатчиком интенсивности при значении частоты $f=50$ Гц и времени разгона $t_p=3$ с

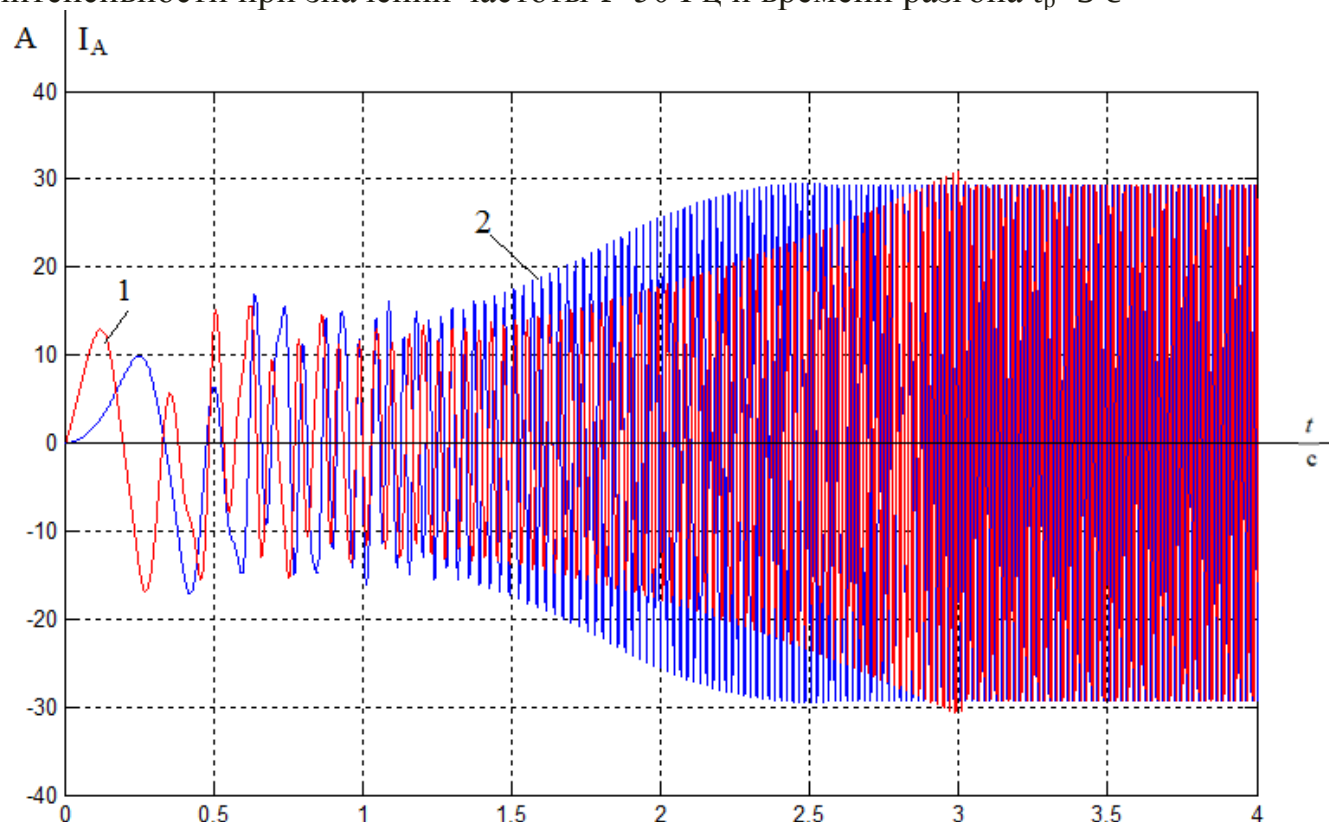


Рисунок 27 – Переходные процессы тока фазы А статора двигателя при пуске с линейным (1) и S-образным (2) задатчиком интенсивности при значении частоты $f=50$ Гц и времени разгона $t_p=3$ с

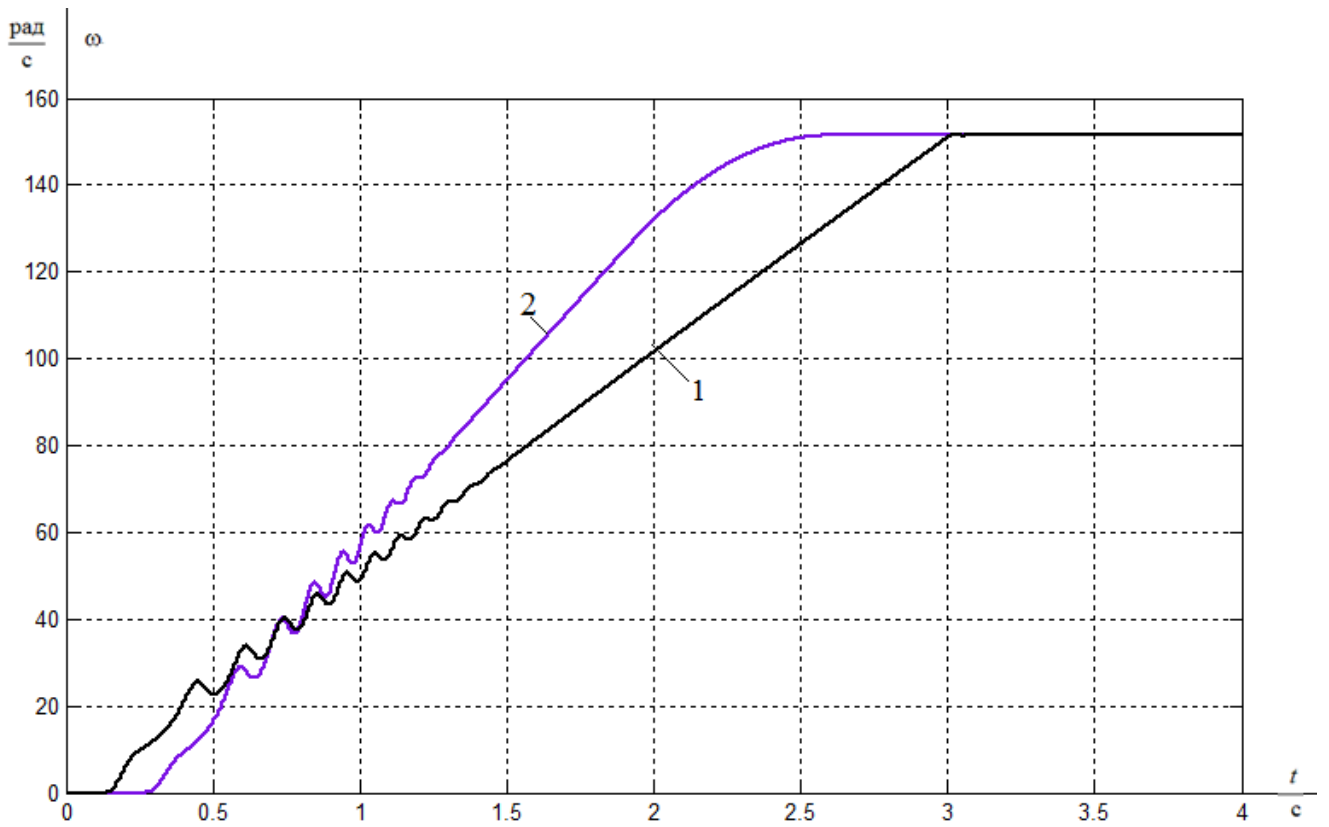


Рисунок 28 – Переходные процессы скорости двигателя при пуске с линейным (1) и S-образным (2) задатчиком интенсивности при значении частоты $f=50$ Гц и времени разгона $t_p=3$ с

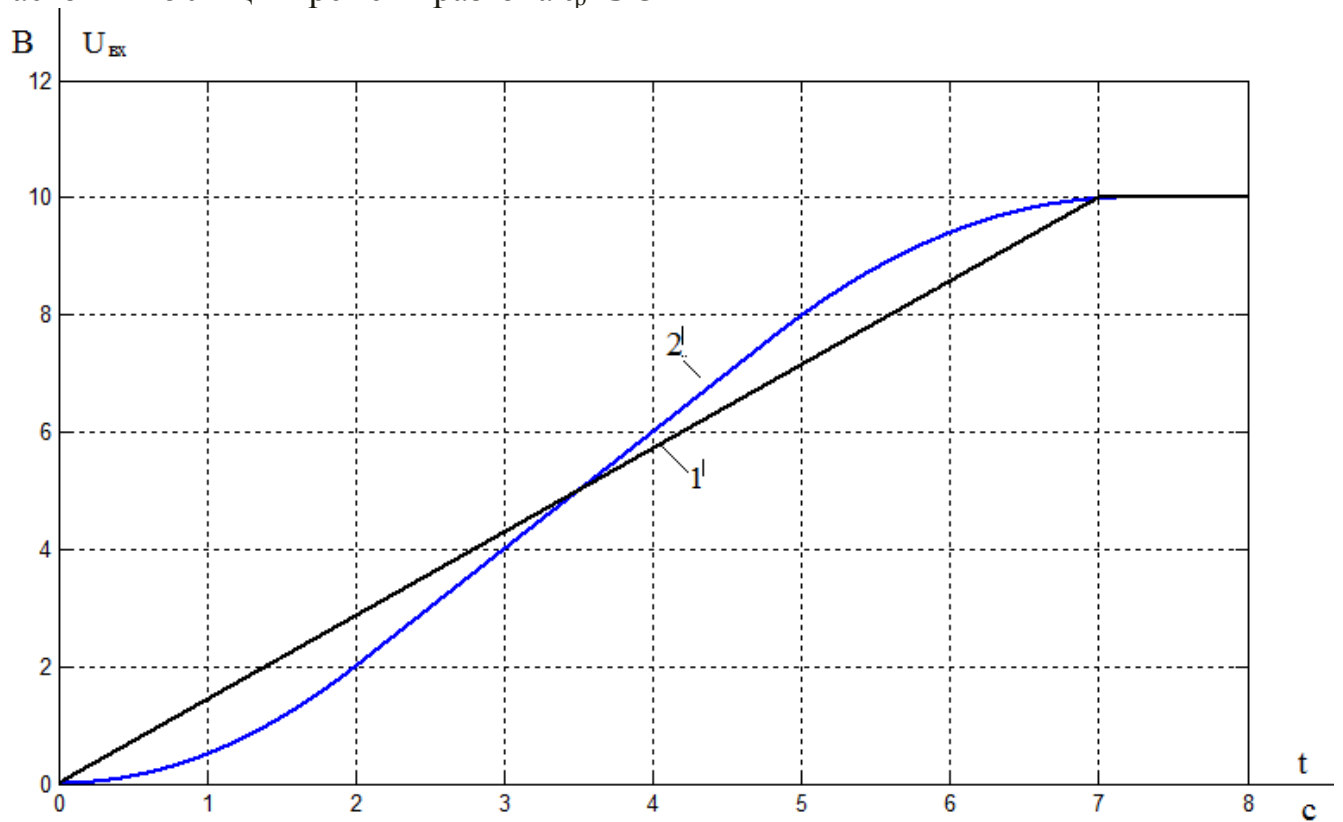


Рисунок 29 – Напряжения линейного (1) и S-образного (2) задатчиков интенсивности при времени разгона $t_p=7$ с

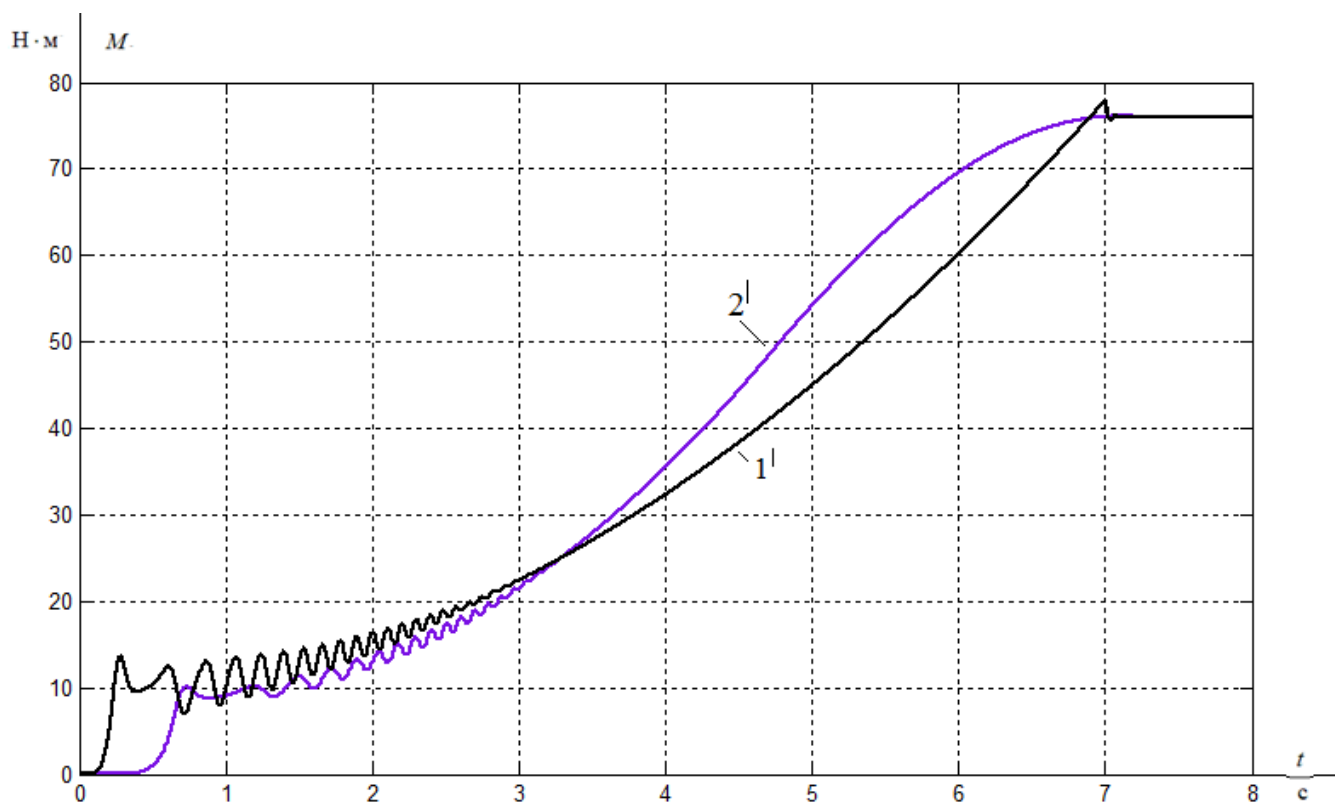


Рисунок 30 – Переходные процессы электромагнитного момента двигателя при пуске с линейным (1) и S-образным (2) задатчиком интенсивности

при значении частоты $f=50$ Гц и времени разгона $t_p=7$ с

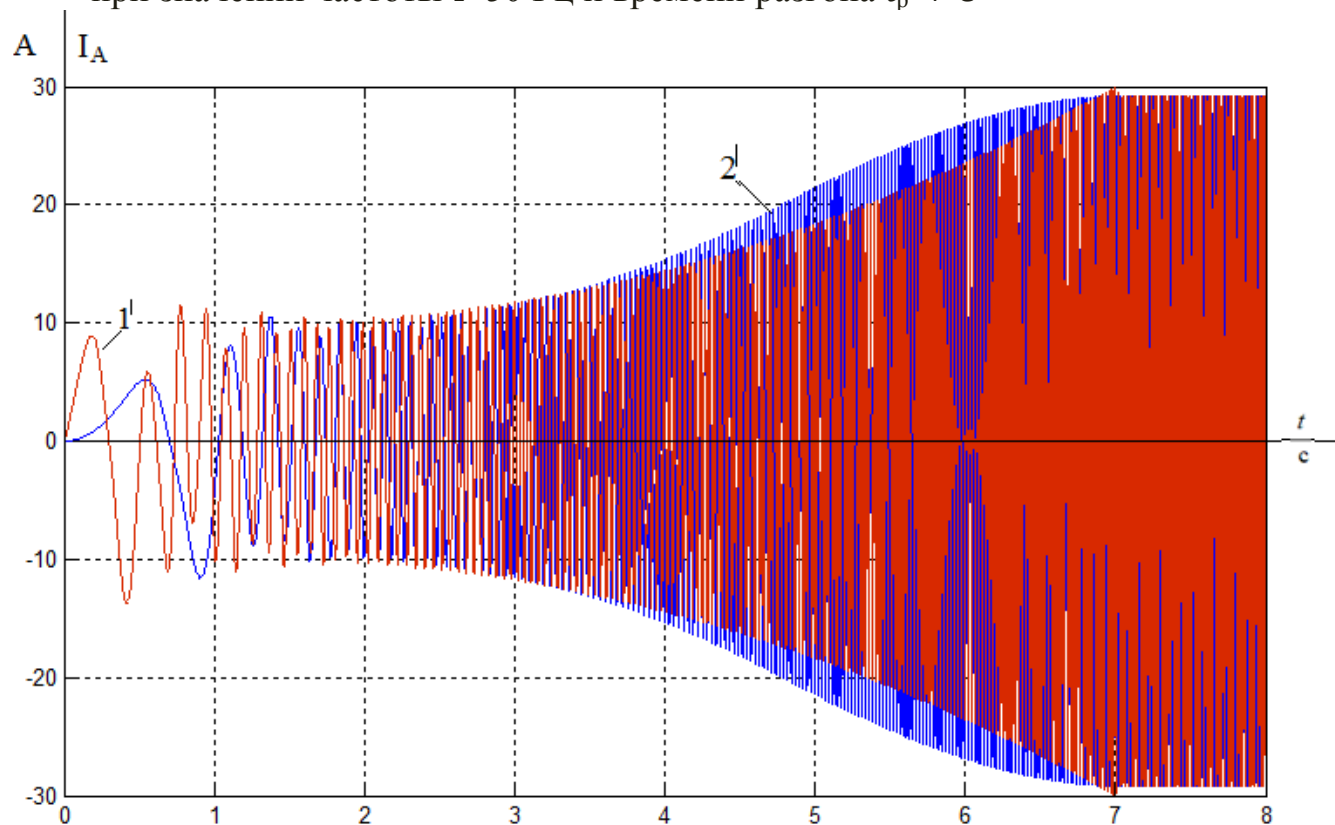


Рисунок 31 – Переходные процессы тока фазы А статора двигателя при пуске с линейным (1) и S-образным (2) задатчиком интенсивности

при значении частоты $f=50$ Гц и времени разгона $t_p=7$ с

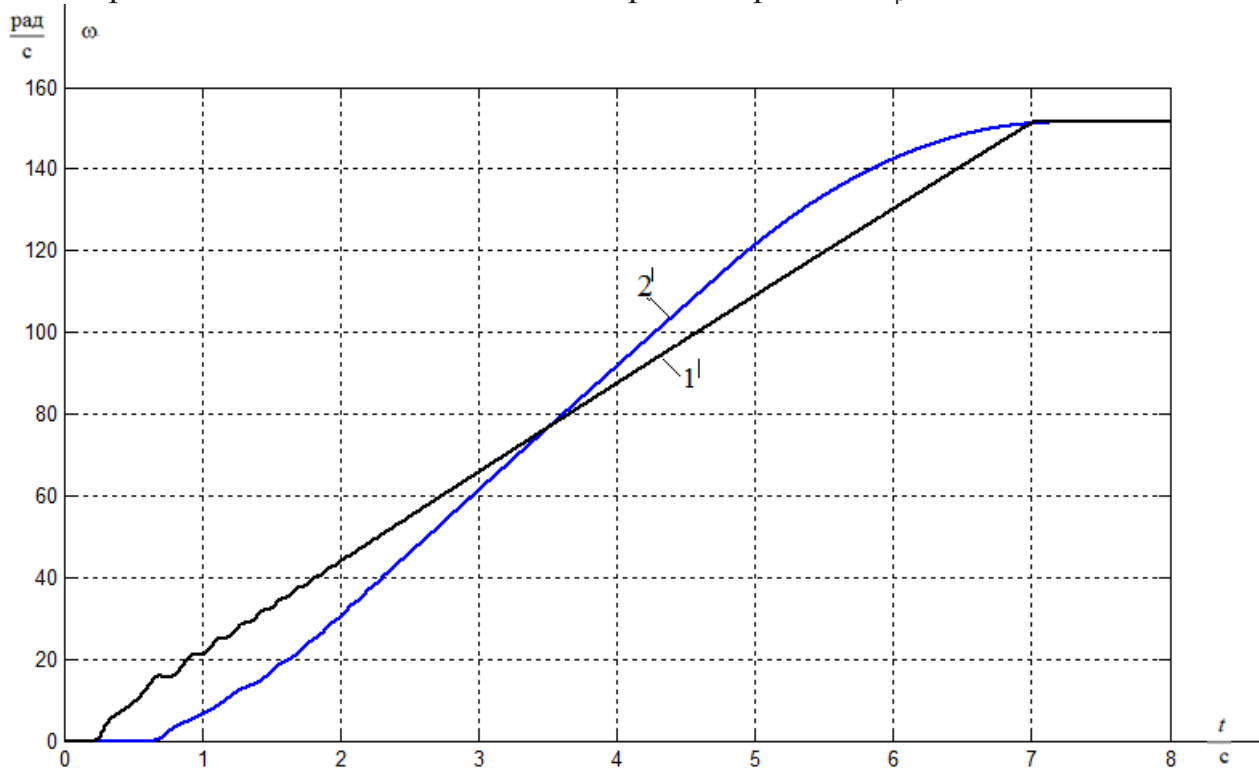


Рисунок 32 – Переходные процессы скорости двигателя при пуске с линейным (1) и S-образным (2) задатчиком интенсивности при значении частоты $f=50$ Гц и времени разгона $t_p=7$ с

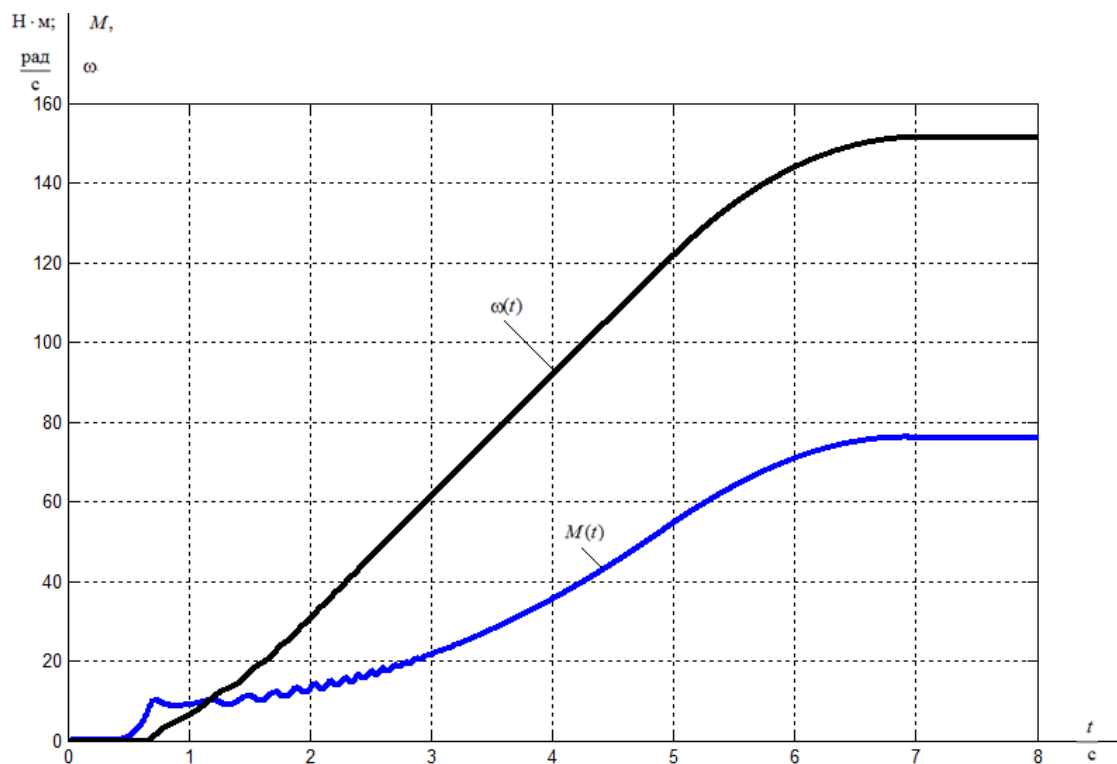


Рисунок 33 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2=\text{const}$ и S-образным

здатчиком интенсивности при значении частоты $f=50$ Гц при времени разгона $t_p=7$ с

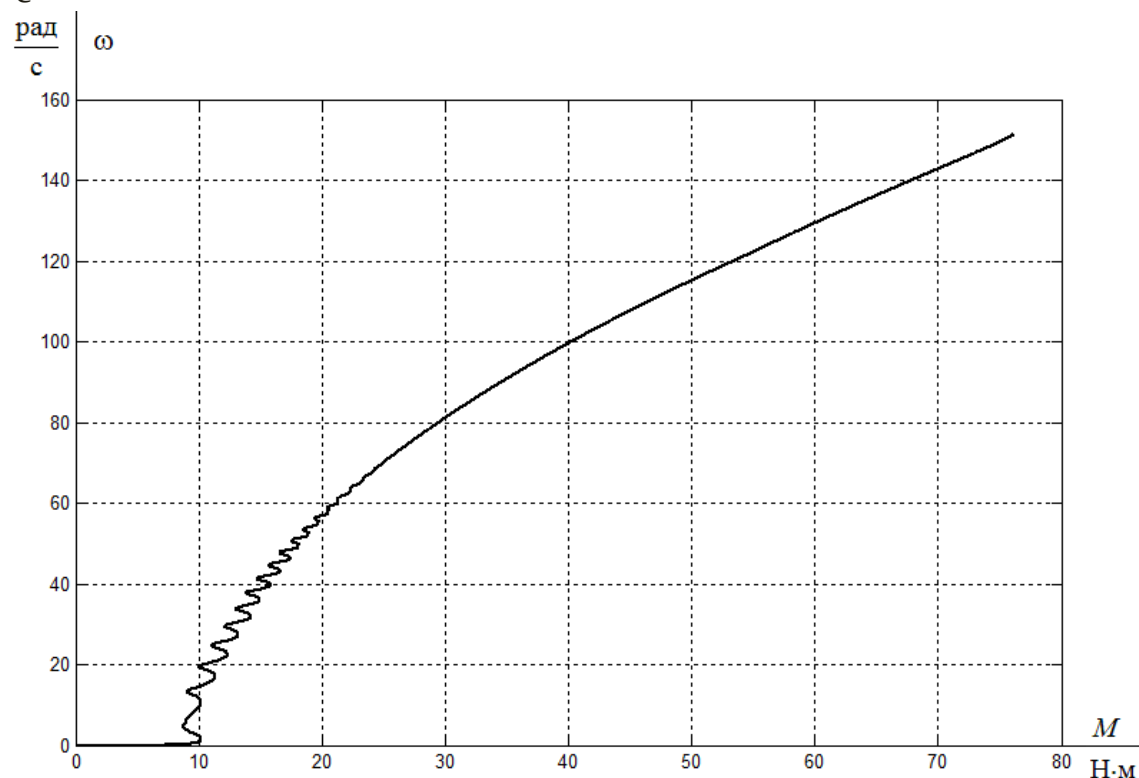


Рисунок 34 – Динамическая механическая характеристика при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2=\text{const}$ и S-образным задатчиком интенсивности при значении частоты $f=50$ Гц при времени разгона $t_p=7$ с

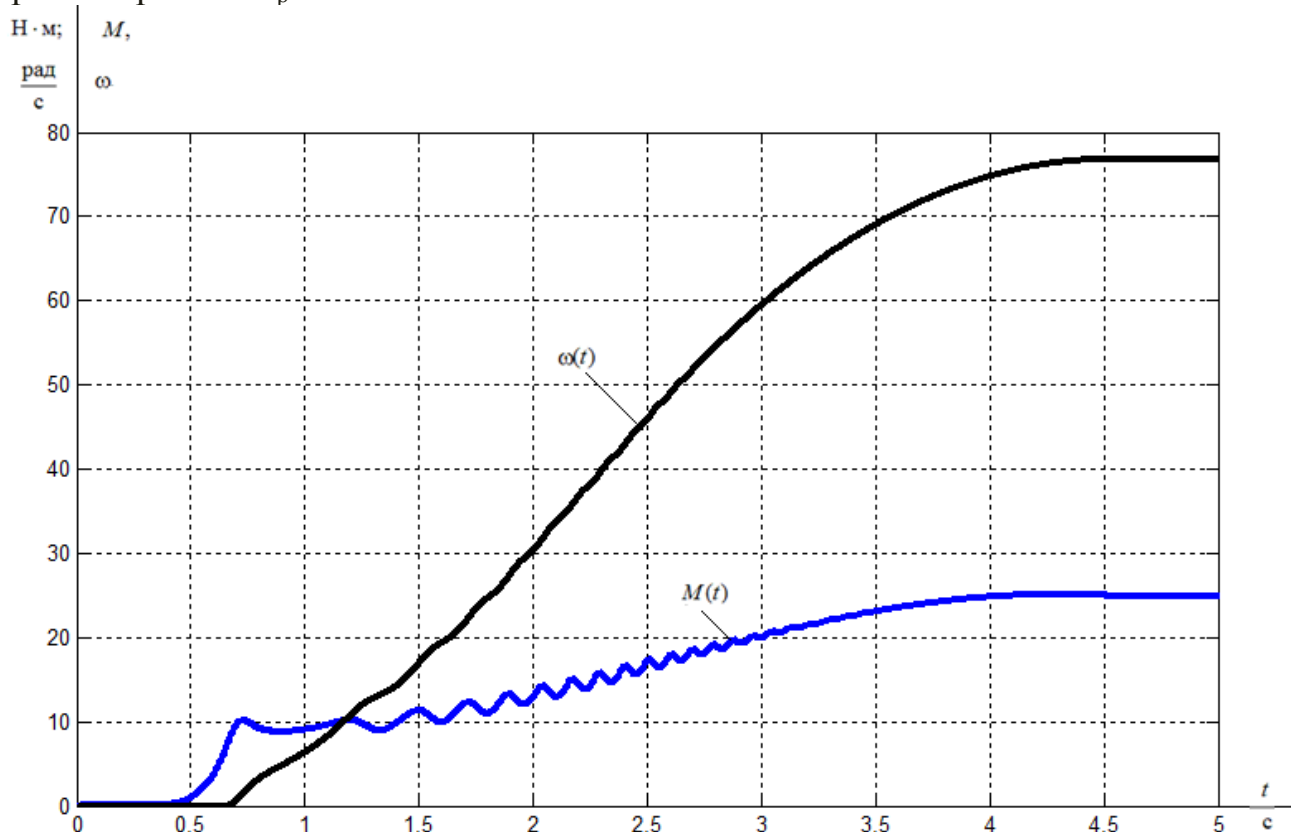


Рисунок 35 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2=\text{const}$ и S-образным задатчиком интенсивности при значении частоты $f=25$ Гц при времени разгона $t_p=7$ с

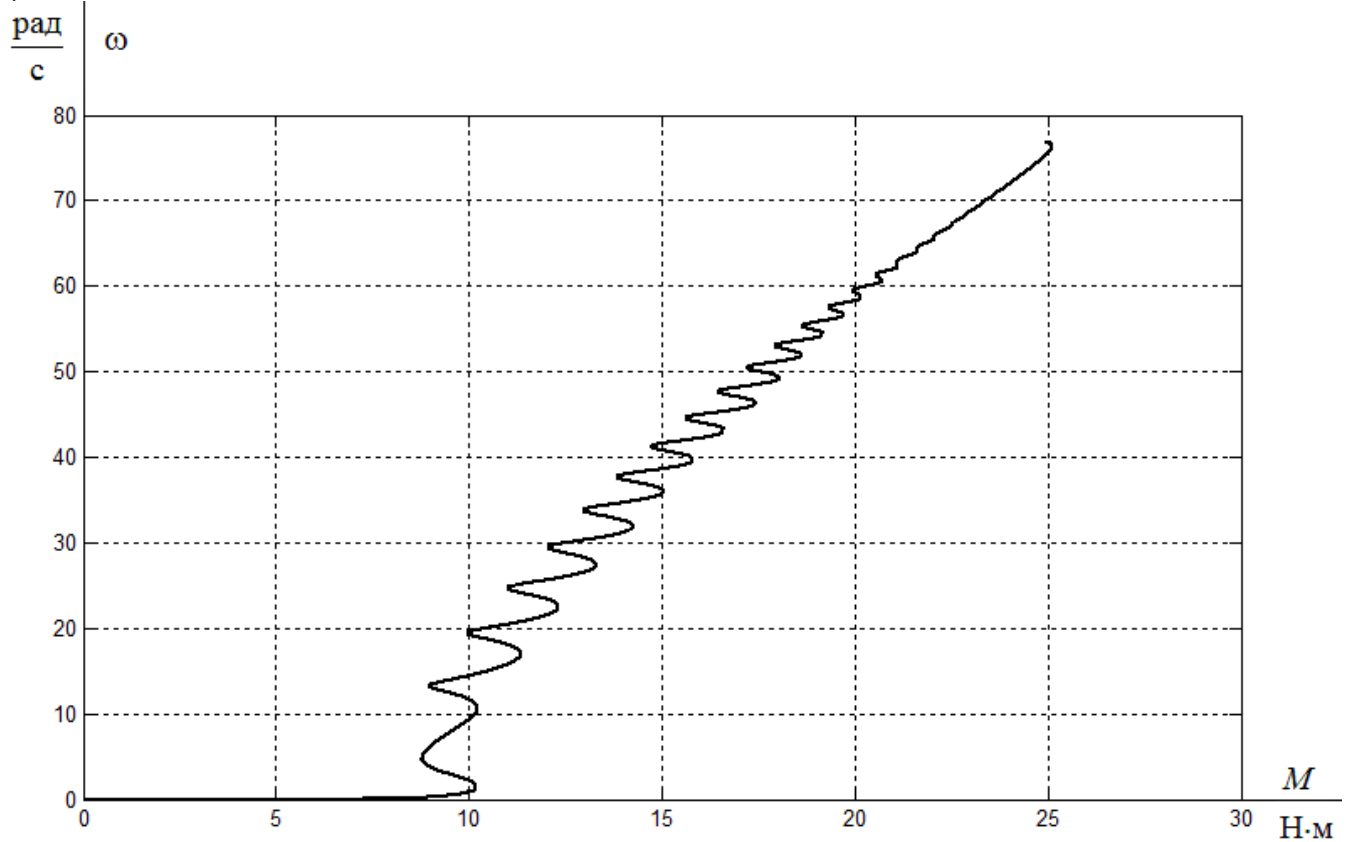


Рисунок 36 – Динамическая механическая характеристика при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2=\text{const}$ и S-образным задатчиком интенсивности при значении частоты $f=25$ Гц при времени разгона $t_p=7$ с

На рисунке 37 приведены переходные процессы пуска электропривода вентилятора градирни с S-образным задатчиком интенсивности на номинальную скорость с последующим плавным уменьшением ее в два раза.

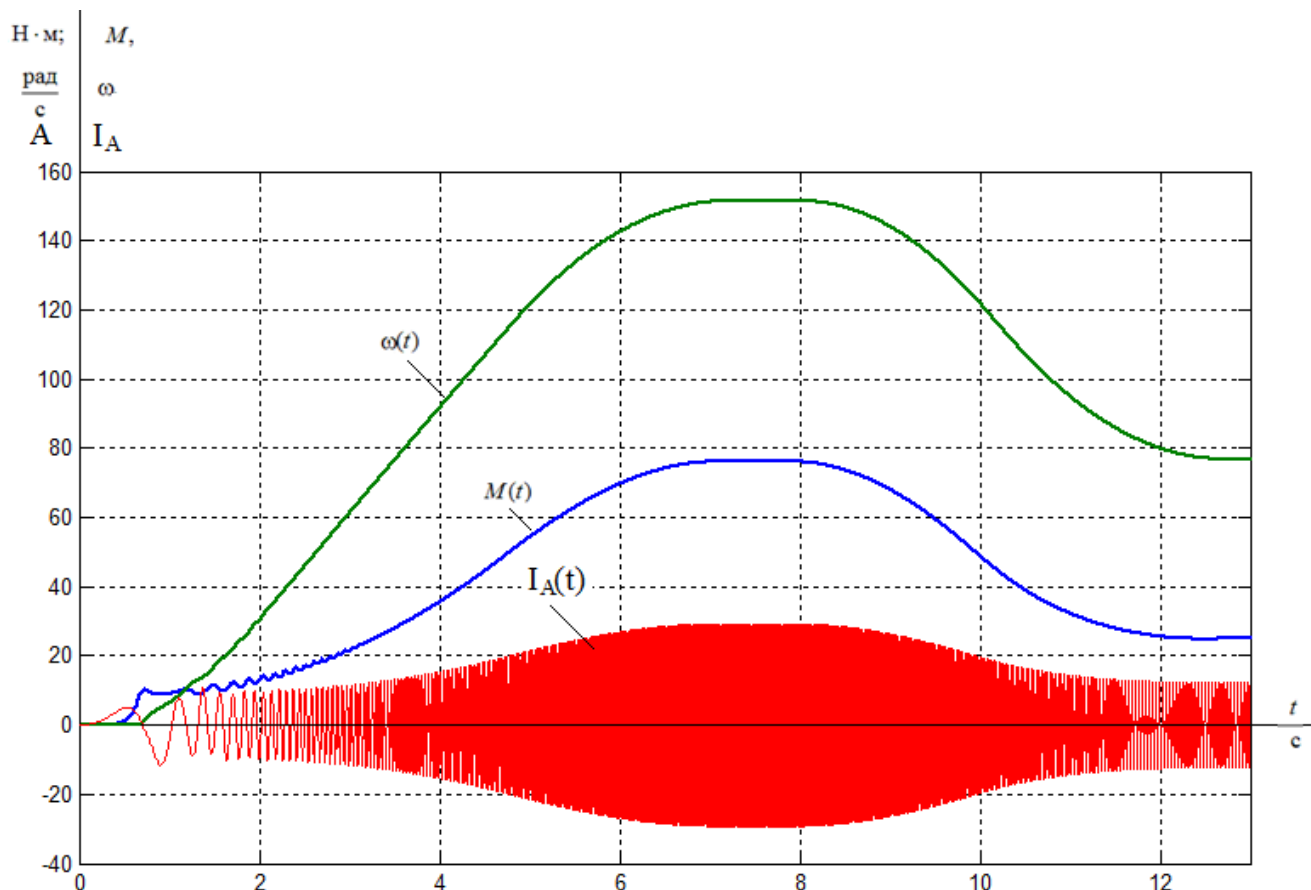


Рисунок 37 – Переходные процессы при пуске электропривода на частоту $f=50$ Гц и понижении частоты до значения $f=25$ Гц

Выводы. В ходе экспериментов было проведено сравнение линейный и S-образный задатчики интенсивности, сравнение проводилось в пределах от 3...10 сек. В результате анализа характеристик пуска электропривода вентилятора градирни установлено:

- При пуске за 3 сек с линейным и S-образным задатчиками интенсивности предпочтительнее использовать линейный задатчик (См. рис 26), но колебания момента электродвигателя довольно значительные.
- При пуске за 7 сек. лучше преимущество имеет S-образный задатчик интенсивности (См. рис.30).
- При пуске более 10 с. характеристики мало незначительно отличаются от характеристик пуска за 7 с.

Если нет жестких требований по времени пуска вентилятора, то наиболее оптимальный вариант пуск за 7 с. с S-образным задатчиком интенсивности.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является проектирование и создание технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования. В данном разделе рассчитывается сумма затрат на проектирование асинхронного электропривода вентилятора градирни и сумма затрат на покупку оборудования для реализации проекта.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка технического проекта при помощи SWOT-анализа;
- расчет затрат на проектные работы электропривода вентилятора градирни;
- планирование проектно-конструкторских работ;
- определение ресурсной эффективности проекта.

4.1 SWOT-анализ по разработке проекта электропривода вентилятора градирни

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [4].

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, которая помогает выявить соответствия слабых и сильных сторон проекта, а также их возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT будем использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта; Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности; У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Высокое качество питающего напряжения С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации С3. Большая экономия потребляемой эл.энергии С4. Квалифицированный персонал С5. Небольшие затраты на ремонт оборудования	Слабые стороны проекта: Сл1. Повышенный уровень вибрации Сл2. Аварийные ситуации Сл3. Значительная стоимость оборудования
Возможности: В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода В3. Резервное питание электропривода питателя пыли. В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	В1С1С2С3С4 В2С2С4С5 В3С1С2С4С5 В4С1С3С5	В1Сл2Сл3; В2Сл1Сл2 В3Сл2Сл3.
Угрозы: У1. Развитая конкуренция технологии производства У2. Риск несвоевременной поставки оборудования У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции У4. Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства	У1С5 У2С5 У3С4 У4С5	У1Сл3 У3Сл1 У4Сл3

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

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

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

Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	-
	B2	-	+	-	+	+
	B3	+	+	-	+	+
	B4	+	-	+	-	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	B1	-	+	+		
	B2	+	+	-		
	B3	-	+	+		
	B4	-	-	-		

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	Y1	-	-	-	-	+
	Y2	-	-	-	-	+
	Y3	-	-	-	+	-
	Y4	-	-	-	-	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	Y1	-	-	+		
	Y2	-	-	-		
	Y3	+	-	-		
	Y4	-	-	+		

По результатам интерактивных матриц, приведенных в ниже, видно, что самой сильной стороной проекта является надежность защит и аварийной сигнализации, так как несвоевременное ликвидация ошибок и аварий может повлечь за собой опасность для жизни людей, а также нарушение технологического процесса. Кроме того, большая экономия потребляемой электрической энергии и высокое качество питающего напряжения показывает перспективность проекта в целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

4.2 Планирование работ технического проекта

Организация работ технического проекта осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- разработка графика проведения технического проектирования.

4.2.1 Определение структуры работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа в состав которых входит руководитель и бакалавр. Составить перечень этапов и работ в рамках проекта и произвести распределение исполнителей по видам работ.

Содержание этапов следующее:

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

№ 2 – сбор и изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников в том числе области применения оборудования, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – сбор исходных данных – электрические схемы соединения; параметры двигателя; параметры частотного преобразователя; аэродинамические характеристики вентилятора и др;

№ 4 – подготовка данных для ввода в базу комплекса – составление схем замещения, расчет естественных характеристик электродвигателя, расчет параметров схемы замещения;

№ 5 – отладка базы данных и проведение тестовых расчетов – перепроверка всех введенных значений, формул и схем;

№ 6 – выбор оборудования – выбрать приводной асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, частотный преобразователь и тип вентилятора градирни;

№ 7 – расчёт и проверка модели АД – построение естественных механических и электромеханических характеристик в среде MATLAB при холостом пуске и пуске с нагрузкой ;

№ 8 – расчёт и проверка модели АД-ПЧ – расчет статических характеристик системы преобразователь-двигатель, расчет и построение семейства механических и электромеханических характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты в среде MATLAB;

№ 9 – оформление пояснительной записки – окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовку к защите, подготовка презентации;

№10 – сдача проекта – защита проекта перед комиссией.

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Методика оценки приведена в [4].

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

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

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

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

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

Результаты расчетов продолжительности выполнения работ приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Расчет продолжительности выполнения работ, чел.дн.

№ этапа работы	Вид работ	Испол-ители	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы.	Ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	1	1
2	Сбор и изучение литературы	Дипломник	8	12	10
3	Сбор исходных данных	Дипломник	8	12	10
4	Подготовка данных для ввода в базу	Дипломник	8	12	10
5	Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	14	16	15
		Руководитель	1	1	1
6	Выбор оборудования	Дипломник	4	6	5
7	Расчёт и проверка модели АД	Дипломник	14	16	15
		Руководитель	1	1	1
8	Расчёт и проверка модели АД-ПЧ	Дипломник	14	16	15
		Руководитель	1	1	1
9	Оформление пояснительной записки	Дипломник	8	12	10
		Руководитель	1	3	2
10	Сдача проекта	Дипломник	1	1	1
		Руководитель	1	1	1

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ[4].

Таблица 4.5 – Диаграмма Ганта

№ этап а рабо т	Вид работ	* Исполнители	Продолж ительност ь одной работы дн.	Продолжительность выполнения работ по декадам										
				Фев.	Март			Апрель			Май			Июнь
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1	Составление ТЗ	Р	1											
2	Сбор и изучение литературы	Д	10											
3	Сбор исходных данных	Д	10											
4	Подготовка данных для ввода в базу	Д	10											
5	Отладка данных и проведение расчетов	Д	15											
		Р	1											
6	Выбор оборудования	Д	5											
7	Расчёт и проверка модели АД	Д	15											
		Р	1											
8	Расчёт и проверка модели АД-ПЧ	Д	15											
		Р	1											
9	Оформление пояснительной записки	Р	2											
		Д	10											
10	Сдача проекта	Р	1											
		Д	1											
* « Д » – дипломник; « Р » – руководитель														

Исходя из диаграммы продолжительности работ, определяется участие каждого специалиста рабочей группы в разработке проекта: руководитель 7 дней, дипломник 91 день. Общая продолжительность выполнения всего комплекса работ по проектированию составил 92 рабочих дня.

4.3 Составление сметы технического проекта

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

- затраты на спец.оборудование;
- полная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Материальные затраты в данном техническом проекте не рассчитываются, так как соединительные провода, шлейфы и т.д. укомплектованы вместе с оборудованием.

4.3.1 Затраты на спец. оборудование

Стоимость спец. оборудования для запуска вентилятора градирни приведена в таблице 4.6.

Таблица 4.6 Стоимость спец. оборудования

Наименование оборудования	Количество, шт.	Цена, тыс.руб.
Электродвигатель АИРМ132М4 (11кВт)	1	15
Преобразователь частоты Triol AT24 -11К-380-2 (11кВт)	1	24
Вентилятор ВГ-25РК	1	55
Итого		94

Первоначальная стоимость оборудования рассчитывается по формуле:

$$C_{OB} = Ц \cdot k_{Tp}$$

где: C_{OB} - первоначальная стоимость оборудования

Ц - цена оборудования

k_{Tp} - коэффициент учитывающий транспортные расходы принимаем $k = 1,11$

4.3.2 Полная заработная плата исполнителей темы

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

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($З_{осн}$) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн. (таблица 4.7).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

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

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

$З_{\text{р.к.}}$ – районная доплата, руб

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Расчёт основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Оклад	Доплаты и надбавки, руб.	Районная доплата, руб.	Зарплата месячная, руб	Среднедневная заработная плата в день, руб.	Продолжительность работ, раб. дн.	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	23264	2200	7639	33103	1273	7	8911
Дипломник	7864	–	2359	10223	393	91	35763
Итого $З_{\text{осн}}$, руб.							44674

Дополнительная заработная плата составляет 12-15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8. – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб.
Руководитель	0,15	8900	1300	10200
Дипломник	0,12	35763	4237	40000
Итого		44663	5537	50200

4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

4.3.4 Накладные расходы

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

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

4.3.5 Формирование сметы технического проекта

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

Определение затрат на технический проект приведен в таблице 4.9

Таблица 4.9 – Смета технических средств

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Спец. оборудования	104,0	52
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	50,2	24,6
3. Отчисления во внебюджетные фонды	15,1	7,4
4. Накладные расходы	30,7	16,0
Итого	200,0	100,0

Исходя из представленной выше таблицы 4.9, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение технического проекта составляет 200 тыс.руб.

Заметим что более половины (52 %) всех расходов составляют затраты на спец. оборудование.

4.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности [4] проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию электропривода питателя пыли рекомендуется рассмотреть следующие критерии:

- надежность вентилятора – это длительный эксплуатационный ресурс (в частности, в условиях электросетей, не гарантирующих стабильного напряжения). Надежность электроснабжения обеспечивается дополнительным резервным питанием, что позволяет обеспечить бесперебойность в работе.

- энергосбережение вентилятора – это экономия электрической энергии. Энергосбережение достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей, использование частотно-регулируемого привода.

- материалоемкость вентилятора – это показатель расхода энергии для работы в номинальном режиме. При проектировании вентилятора градирни значительную часть общего электропотребления компенсируем за счет энергосберегающей политики.

- помехоустойчивость вентилятора – это способность сигнала противостоять действию помех (т.е. сохранять содержащуюся в нём информацию, несмотря на действие помех) . Помехоустойчивость достигается за счет

классификации всех электроприемников по степени их помехоустойчивости и выбора точки их подключения с учетом электромагнитной обстановки. Эти меры позволяют снизить помехи электроприемников.

- удобство – это возможность для лёгкого управления и демонтажа вентилятора градирни. Удобство управления и регулирования скорости вентилятора (потока воздуха) осуществляется использованием частотно-регулируемого привода. Заметим, что удобство демонтажа вызывает затруднения, т.к вентилятор находится на высоте более 4 м.

- производительности труда – это показатель, характеризующий результативность труда, обеспечивается в проекте благодаря автоматизации, но при этом капиталовложения возрастают.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Сравнительная оценка характеристик проекта

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

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

В данном разделе были рассмотрены и раскрыты следующие вопросы:

- произведен SWOT-анализ, который выявил, приоритетные стороны этого проекта, указывающие на перспективность проекта в целом. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

- составлена диаграмма продолжительности работ , позволяющая скоординировать работу исполнителей.

- рассчитана смета затрат на выполнение технического проекта, которая составила 200 тыс.руб.

- определен показатель ресурсоэффективности проекта, который имеет достаточно высокое значение – 4,6 (по 5- балльной шкале).

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В данной выпускной квалификационной работе был разработан электропривод переменного тока вентилятора охлаждения градирни. Смыслом данной работы состоит в исследовании, а так же оценке вредных, и опасных факторов труда, которые могут оказать воздействие на персонал (Электромонтер по ремонту и обслуживанию электроустановок), занимающийся обслуживанием подкачивающей насосной станции, где будет установлен данный электропривод. Проведены исследования способов защиты от данных факторов, мониторинг условий труда и микроклимата рабочей среды. Так же в данной работе, будут рассмотрены вопросы касающиеся непосредственно техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, советы по созданию наилучших условий труда.

5.1. Анализ опасных и вредных факторов.

При использовании вентилятора охлаждения градирни возможно действие на человека опасных производственных факторов:

- Поражение электрическим током.
- Пожар.
- Наличие вращающихся частей.

Так же присутствуют вредные факторы, которые в свою очередь могут оказать негативное воздействие на человека. К ним относятся:

- Повышенный уровень вибрации.
- Недостаток естественного света.
- Повышенная влажность.
- Тепловое излучение.
- Повышенная температура воздуха.
- Повышенный уровень шума.
- Повышенная скорость движения воздуха.

5.2 Техника безопасности

Данный объект относится ко 2 – ой категории опасности. Помещение можно охарактеризовать как сырое, в котором влажность составляет более 75 %, имеется скопление токопроводящей пыли, наличие металлического, земляного или кирпичного пола, температура выше 35 °С и т.д.

Так как вентилятор состоит из вращающихся механизмов, то при их обслуживании существует вероятность соприкосновения с ними, а они в свою очередь могут нанести вред человеку. Для того чтобы свести влияние этого фактора к минимуму, на вращающиеся части механизмом устанавливают защитные кожухи, а так же проводят балансировку механизмов в соответствии с [6].

Техническое использование работающих электроустановок производится электротехническим персоналом в соответствии с ведомственными Правилами технической эксплуатации электроустановок (ПТЭ) и Правилами технической безопасности при эксплуатации электроустановок (ПТБ). Работающими - называют электроустановки или их участки, находящиеся под напряжением или на которые напряжение можно подать включением коммутационных аппаратов (выключателей, отделителей, разъединителей и др.).

Обслуживание электроустановок осуществляется административно-техническими, дежурными, ремонтными или оперативно-ремонтными электротехническими работниками.

Люди из числа дежурного и оперативно-ремонтного персонала обязаны пройти необходимую теоретическую подготовку, обучение на рабочем месте и проверку знаний ПТЭ и ПТБ.

Эффективное обслуживание предполагает повторяющиеся осмотры электрооборудования распределительных устройств, приборов релейной защиты и автоматики, кабельных и воздушных линий, а так же производство обязательных оперативных переключений.

В период использования электроустановок выполняются работы, рассчитанные графиками планово-предупредительного ремонта рабочего

электрооборудования, профилактические опробования изоляции электрических машин, кабелей, наладка и проверка аппаратуры управления электроприводами, релейной защиты и автоматики, возможны внеплановые ремонты, ликвидация последствий аварий и так далее.

Перед работой на электроустановках и в ходе ее выполнения обязательно выполнять организационные и технические мероприятия, гарантирующие безопасность труда.

В действующих электроустановках существует три категории принятия мер безопасности во время проведения работ:

1. Снятие напряжения с токоведущих частей.
2. Применение электрозащитных средств при работах на токоведущих частях.
3. Под напряжением на нетоковедущих частях.

Обязательно применить дальнейшие технические процедуры для безопасного проведения работ с полным или частичным снятием напряжения в электроустановках насосной станции:

1. Выполнить отключения и принять меры, блокирующие подачу напряжения к месту работы.
2. Повесить на рукоятках коммутационных аппаратов запрещающие плакаты: "Не включать - работают люди!".
3. Убедиться в отсутствии остаточного напряжения индикатором.

Помещение вентилятора охлаждения градирни в соответствие [7] относится к сооружениям особой опасности. Данное сооружение имеет токопроводящие полы, так же возможно одновременное прикосновение к металлическим корпусам электрооборудования и заземленным конструкциям. При аварии, во время работы электроустановок насосной станции может появиться напряжение на металлических шкафах электрооборудования, электродвигателях и металлических частях пульта управления и других нетоковедущих частях. В связи с этим при контакте металлических установок с телом человека может произойти замыкание электрической цепи. Сейчас в РБ

действует [8], который распространяется на почти на все электроустановки постоянного и переменного токов и определяет нормы предельно допустимых для человека значений напряжения прикосновения и протекающих через его тело токов.

Управление этими уровнями тока должно производиться измерениями этих величин в выше указанных местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека.

Для защиты рабочего персонала двигатели – зануляются, а корпуса шкафов управления и другого электрооборудования заземляются. Умышленное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением называется - защитное заземление. Работа защитного заземления - это снижение до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус или другими причинами. Этого добиваются путем снижения потенциала на заземленном оборудовании (за счет уменьшения сопротивления заземления), а также выравниванием потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования.

Специальное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением называется - защитное зануление. Принцип его действия - преобразование замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание (между фазным и нулевым проводником) с целью вызвать большой ток, способный обеспечить срабатывание защиты и автоматически отключить поврежденное электрооборудование от питающей сети.

Схема защитного зануления приведена на рис. 6.1.

Схема защитного зануления установки.

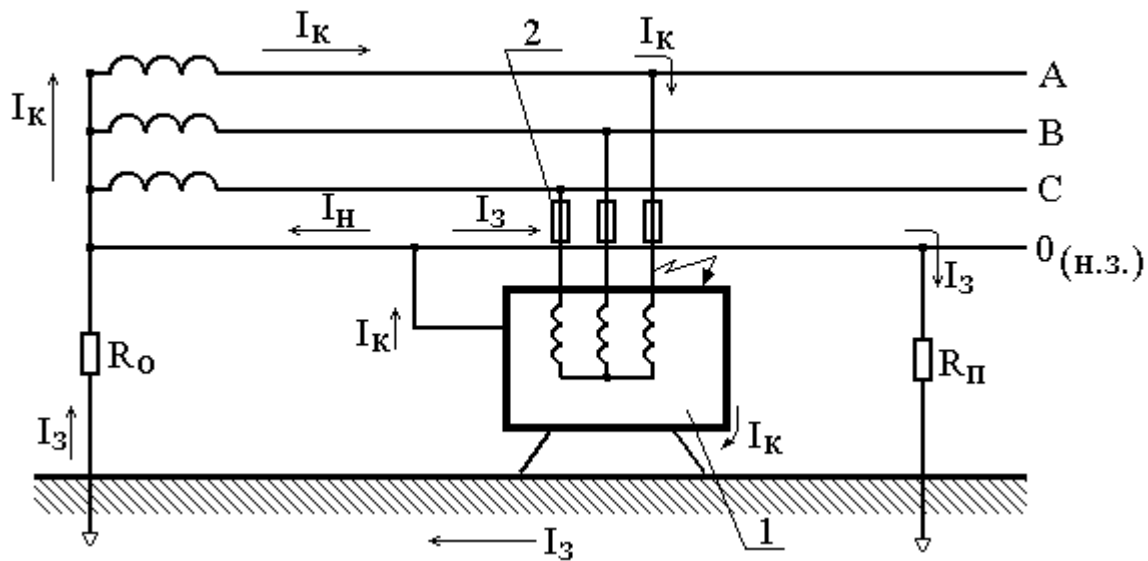


Рисунок 5.1 – Схема защитного зануления установки.

1 – корпус;

2 – аппараты защиты от токов короткого замыкания (предохранители и автоматы);

R_0 – сопротивление заземления нейтрализации источника тока;

R_{Π} – сопротивление повторного заземления нулевого защитного проводника;

I_k – ток к.з.;

I_n – часть тока короткого замыкания, протекающая через нулевой проводник;

I_z – часть тока короткого замыкания, протекающая через землю;

0 (н.з.) – нулевой защитный проводник.

Если значение тока однофазного короткого замыкания (I_k), которое искусственно создается в цепи, будет больше значения тока срабатывания автомата и выполняется следующее условие,

$$I_k \geq k \cdot I_{ном},$$

произойдёт отключение неисправной установки от питания.

где k – коэффициент кратности тока, выбирается в зависимости от типа защиты электроустановки.

При проверке обеспечения отключающей способности зануления обязательно проверить следующее условие:

$$I_{\kappa 2} \geq I_{\kappa 1}$$

Где $I_{\kappa 1}$ - наименьшее допустимое значение тока короткого замыкания, $I_{\kappa 2}$ - действительное значение тока однофазного короткого замыкания.

Необходимо определить следующие:

- минимально- разрешенное значение тока ($I_{\kappa 1}$) короткого замыкания, при котором произойдет включение защиты и неисправное оборудование отключится от сети;

- настоящее значение тока однофазного короткого замыкания, которое будет иметь место в схеме при возникновении аварии ($I_{\kappa 2}$).

Определим величину тока $I_{\kappa 1}$:

где $I_{ном} = 50$ А - номинальный ток срабатывания автомата.

Определим полное сопротивление петли "фаза-нуль":

$$Z_{\Pi} = \sqrt{R_{\phi} + R_{H.A}^2 + X_{\phi} + X_{H.A} + X_{\Pi}^2}$$

где $R_{\phi} = 0,9$ Ом (алюминий), $R_{H. a} = 0.154$ Ом (сталь). - активное сопротивление фазного и нулевого защитного проводников; $X_{\phi} = 0.015$ Ом, $X_{H. a} = 0.154$ Ом - внутренние индуктивные сопротивления фазного и нулевого проводников; $X_{\Pi} = 0,02$ Ом - внешнее индуктивное сопротивление петли "фаза-нуль".



Находим настоящее значение тока однофазного короткого замыкания, проходящего в схеме в аварийном режиме:



где U_{ϕ} - фазное напряжение, В;

Z_{Π} - полное сопротивление цепи "фаза-нуль", Ом;

Z_T - полное сопротивление трансформатора, Ом.

Сравним вычисленные значения токов однофазного короткого замыкания (I_{k2}) с минимальным, разрешенным по условиям срабатывания защиты током (I_{k1}):

из чего следует что, отключающая способность системы зануления обеспечена и нулевой защитный проводник выбран верно.

5.3 Производственная санитария.

Для обеспечения безопасности рабочего персонала обслуживающего данный объект, вращающиеся части электродвигателей, и вентилятор обязаны быть закрыты защитными кожухами. Во время работы вентилятора возможно воздействие на человека следующих вредных [5] факторов:

- Увеличенные уровни шума.
- Увеличенная вибрация.
- Нехватка естественного света.

При появлении на вентиляторе биологически опасных факторов, таких как патогенные микроорганизмы (бактерии, вирусы, риккетсии, спирохеты) и продукты их жизнедеятельности, существует вероятность заражения значительного числа людей, в связи с этим помещения насосной станции должны находиться под санитарным контролем.

Вентиляторные установки считаются источниками шума. Разрешённые уровни звукового давления в октавных полосах частот и уровней звука на рабочих местах приведены в таблице 5.1. Согласно» [9]

Таблица 5.1. – Разрешенные уровни звукового давления в октавных полосах частот.

Рабочее место	Уровни звукового давления дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами	Уровни звука,
---------------	---	---------------

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	дБА
Постоянные рабочие места	95	87	22	78	75	73	71	69	80

Что бы уровни шума стали допустимыми, следует применить следующие меры безопасности:

- Разработка шумобезопасной техники;
- применение средств и методов коллективной защиты в соответствии с [10];
- применение средств индивидуальной защиты согласно» [10].

Освещенность помещений вентиляторной должна соответствовать виду производимых работ: в помещении с пультом управления - зрительной работе средней точности, а в прочих помещениях - малой точности.

Нормы освещенности на рабочих местах согласно [11] показаны в таблице 5.2

Таблица 5.2 – Нормы освещенности на рабочих местах.

Характеристика зрительной работы	Минимальный размер объекта, мм	Разряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение, лк	Естественное освещение КЕО, %	Совместное освещение КЕО, %
Средней точности	0.5.1.0	IVв	средний	средний	400	4	2.4
Малой точности	1.0.5.0	Vв	средний	средний	150	3	1.8

Разрешенные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений указаны в таблице 5.3 [12]

Таблица 5.3 – Разрешенные показатели микроклимата на рабочих местах.

Период года	Категория работ по уровням	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
-------------	----------------------------	-------------------------	------------------------------------	--------------------------------

	энергозатрат (ккал/ч)	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Теплый	2а(151-200)	20-22	18-27	60-40	15-75	0,2	0,4
Холодный	2а (151-200)	19-21	17-23	60-40	15-75	0,2	0,3

При наличии теплового облучения работающих температура воздуха на рабочих местах не должна превышать 22°С» [15].

Таблица 5.4 –величины интенсивности теплового облучения поверхности тела, допустимые от производственных источников.

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового излучения, 2Вт/м, не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

Для уменьшения влияния теплового излучения на рабочий персонал, выделяется спецодежда, обеспечивающая защиту от воздействия опасных производственных факторов, вызываемых тепловым излучением и конвективной теплотой, при соответствии условий работы, режима и охраны труда принятым требованиям. Ткани одежды не должны вредно воздействовать на организм человека. Одежда должна иметь санитарно-эпидемиологическое заключение установленного образца о соответствии государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормам» [16].

Содержание пыли в воздухе рабочего помещения ниже установленной нормы, по которой предельно-допустимая концентрация составляет более 10 мг/м³.

Вентилятор относится к 3 категории вибрации - технологическая вибрация, которая воздействует на человека на рабочем месте. Источником вибрации служат: деревообрабатывающие и металлообрабатывающие станки, кузнечнопрессовые установки, литейные машины, электрические машины, стационарные электрические установки, насосные агрегаты и вентиляторы, оборудование для бурения скважин, буровые станки, машины для животноводства, очистки и сортировки зерна (в том числе сушилки), оборудование промышленности стройматериалов (кроме бетоноукладчиков), установки химической и нефтехимической промышленности и другие.

Долгое действие вибрации на организм человека может привести к серьезным последствиям под названием «вибрационная болезнь». Это профессиональная патология, возникающая в результате долгого влияния на организм человека производственной вибрации, завышенной по ПДУ. Болеют, обычно, мужчины среднего возраста. Вибрация может воздействовать как локально (на руки), так и на организм полностью. В любом случае вибрация способна распространиться, отражаясь на нервной и опорно-двигательной системе. Подавляется вибрация благодаря эластическим свойствам мышц, связок, хрящей. Так же, от длительной вибрации страдает сердечнососудистая система и особенно - микроциркуляторное русло (мелкие сосуды, в которых идет непосредственная отдача кровью кислорода, и утилизация из тканей углекислого газа). Далее согласно[13] в таблице 5.5 приведены разрешенные уровни вибрации для производственных помещений.

Таблица 5.5 –величины вибрации допустимые в производственных помещениях предприятий.

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательных движений, см/с ²
----------------------------------	----------------------	---------------------------------------	---

0,6-0,4	До3	1,12-0,76	22-14
0,4-0,15	3-5	0,76-0,46	14-15
0,15-0,05	5-8	0,46-0,25	15-13
0,05-0,03	8-15	0,25-0,28	13-27
0,03-0,009	15-30	0,28-0,17	27-32
0,009-0,007	30-50	0,17-0,22	32-70
0,007-0,005	50-75	0,22-0,23	70-112
0,005-0,003	75-100	0,23-0,19	112-120
* 1,5-2	45-55	1,5-2,5	25-40

Для уменьшения действия вибрации на человека, меняют конструкцию, в частности смещают её основные собственные частоты, при которых возможно возникновение резонанса, что достигается увеличением жесткости системы (за счет введения дополнительных ребер жесткости) или ее массы (например, усиление фундамента). Ещё один способ — это присоединение к объекту упругого подвешенного тела — динамический гаситель, который воспринимает вибрацию основного объекта (динамическое гашение вибрации).

5.4 Пожарная безопасность

Помещение где поставлен вентилятор согласно [14] относиться к категории Д.

Открытый огонь, повышенная температура воздуха, искры, токсичные продукты горения, отсутствие или малая концентрация кислорода, дым, повреждение зданий, а также взрыв , являются самыми опасными моментами пожара для населения.

Что бы избежать возникновения пожара обязательно соблюдать следующие меры:

- не допускать появления горючей среды;
- не допускать появления источников зажигания горючей среды;
- постоянно поддерживать оптимальную температуру и давление горючей среды;
- снижать определяющий объём горючей среды.

Во время коротких замыканий, перегрева и т.п. может возникнуть загорание электропроводки, электроустановок. Для тушения пожара в данных условиях необходимо применять специальные средства, так же запрещено использовать воду и другие токопроводящие вещества. В связи с чем, следует оборудовать помещения насосной станции средствами для тушения электропроводок и электроустановок под напряжением. Применяемый тип огнетушителей: ОУ-10 (огнетушитель углекислотный).

5.5 Охрана окружающей среды.

Во время использования объекта определены основные виды воздействий проектируемого объекта:- строительство и использование объекта – физическое наличие;

- влияние на гидрологию, климат, социально-экономические условия жизни,
- использование ресурсов природы местным населением.

Хим. вещества, скопление пыль, твердые бытовые отходы, загрязняющие окружающую среду, воздействуют на биопродуктивность водоемов и здоровье населения. Так же воздействие на окружающую среду производят повышенный шум, вибрация и электромагнитные излучения, и динамическое воздействие движущихся машин и механизмов на людей, животных, растительность, почву.

Процедуры по уменьшению интенсивности загрязнения воздуха, создание препятствий на пути распространения и их очисткой разными методами:

Физико-химическими – для сварочных работ применение устройств для сбора и очистки газов (местных отсосов).

Биологическими – сохранение и создание полос озеленения вокруг объекта.

Воздействие на гидросферу.

Ведется систематическая работа по сокращению загрязнения сточных вод и общих объемов водопотребления и водоотведения, а так же проводится очистки загрязненных и ливневых сточных вод.

Процедуры по уменьшению отрицательного шумового воздействия являются, сохранения природных и создание искусственных препятствий для

гашения уровня шума. Во время утилизации или хранения отходов промышленного производства появляются очаги образования отходов потребления и производства, следует разработать план мероприятий по их утилизации. Такими источниками являются горюче-смазочные материалы, металлолом, бытовые отходы. Мероприятия по утилизации данных видов отходов предусматривают немедленный вывоз на площадки хранения ТБО, повторная переработка ГСМ и металлолома.

5.6 Защита при ЧС

В связи с требованиями постановления Правительства Российской Федерации от 19.09.98 N 1115 "О порядке отнесения организаций к категориям по гражданской обороне" вентиляторы охлаждения градирни отнесены к объектам по гражданской обороне.

В связи, с чем насосные станции располагают в следующих местах вероятных опасностей:

- в зоне вероятных минимальных разрушений;

Доведение сигналов оповещения ГО и в случае ЧС до работников объектов осуществляется с помощью речевой информации по каналам радио, по радиотрансляционным сетям и сетям связи. Электроснабжение главных электроприемных объектов предусматривается по I категории надежности от двух независимых источников. Проектные решения по предупреждению чрезвычайных ситуаций (ЧС). На территории насосных станций не используют, не производят, не перерабатывают, не хранят радиоактивные, пожароопасные, а также взрывоопасные, опасные химические и биологические вещества, создающие реальную угрозу возникновения источника чрезвычайной ситуации. В качестве самых вероятных чрезвычайных ситуаций техногенного характера проектом рассматриваются:

- пожар на территории объектов;
- ЧС при стороннем вмешательстве в деятельность объектов.
- население, которое может оказаться в зоне действия поражающих факторов

в случае аварии на объектах, отсутствует.

Гарантией оптимальной работоспособности объекта при ЧС являются следующие меры безопасности:

- Установка вспомогательного резервного электропитания
- Наличие вспомогательных запасных частей.
- Наличие резерва питьевой воды»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью, данной выпускной квалификационной работы является разработка электропривода вентилятора градирни ВГ 25РК.

Предложено заменить существующий морально устаревший и выработавший ресурс нерегулируемый электропривод на частотно–регулируемый асинхронный электропривод. По результатам расчета требуемой мощности двигателя выбран электродвигатель серии АИРМ132М4, а также преобразователь частоты серии Triol AT24 HVAC типа AT24-11K-380-2

Результаты аналитических расчетов и имитационного моделирования подтверждают правильность выбора силовых элементов – электродвигателя и преобразователя – и реализации системы автоматического частотно-регулируемого электропривода вентилятора.

Система преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель обеспечивает требуемые характеристики вентилятора, а система автоматического регулирования с скалярном управлением обеспечивает поддержание технологических параметров в режимах пуска и воздействия возмущений с принятыми параметрами.

В экономической части выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы планирования, финансирования электропривода вентилятора градирни. Составлена смета на проведение ПНР и построен график выполнения работ и занятости исполнителей, а также доказана экономическая целесообразность от внедрения спроектированного электропривода. В разделе социальная безопасность проекта освещены вопросы: производственной и экологической безопасности; техники безопасности; анализ опасных и вредных производственных факторов; пожарная безопасность; рассмотрены мероприятия по охране окружающей среды и защите при ЧС

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. Оптимизация контура регулирования: учебное пособие. – Изд. 2-е, перераб. и дополн. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 156 с.
2. http://www.znaytovar.ru/gost/2/Posobie_k_SNiP_2040284_Posobie2.html
3. <http://www.evromash.ru/articles/rekomendacii-po-razmescheniyu-24-article.html>
4. Криницына З.В., И.Г. Видяев Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
5. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
6. ГОСТ 17494-87 - Машины электрические вращающиеся.
7. ПУЭ, МПОТ, ПТЭ. — 6-е и 7-е изд.. — Новосибирск: Сибирское университетское изд-во, 2009. — 687 с.: ил.. — ISBN 978-5-379-01195-6.
8. ГОСТ 12.1.000-02 ССБТ – Электробезопасность. Допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
9. ГОСТ 12.1.003-83(СТ СЭВ 1930-79) – Шум. Общие требования безопасности.
10. ГОСТ 12.4.051-87 – Средства индивидуальной защиты органа слуха.
11. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
12. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы.
13. ГОСТ 12.4.012-83 – Вибрация. Средства измерения и контроля вибрации на рабочих местах. Технические требования..
14. НПБ 105-03 Определение категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
15. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

16. ГОСТ 12.4.221-2002 Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения, конвектив.