

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

Энергетический институт
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра ЭПЭО

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование двухзонного электропривода постоянного тока

УДК 62-831.2-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Б	Брусов Андрей Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст.преп.	Ляпушкин С.В.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., К.Т.Н.		

Томск – 2016 г.

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

Институт – ЭНИН
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Кафедра – Электропривод и электрооборудование

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2Б	Брусову Андрею Владимировичу

Тема работы:

Исследование двухзонного электропривода постоянного тока	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы производственной практики, техническая литература, техническая документации
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; применение двухзонного электропривода постоянного тока в промышленности; выбор элементов и расчет параметров силового канала электропривода; синтез структуры и параметров регуляторов; исследование динамики двухзонного электропривода при различных структурах регуляторов; исследование динамики двухзонного электропривода при различных структурах регуляторов с учетом кривой намагничивания двигателя; социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
Перечень графического материала	- схема электрическая структурная; -имитационная модель; -графики переходных процессов; -план размещения светильников.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Основное исследование	Ляпушкин С.В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трофимова М.Н.
Социальная ответственность	Дашковский А.Г.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ляпушкин С.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Б	Брусов А.В.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2Б	Брусов Андрей Владимирович

Институт	Энергетический	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 13% районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	27,1 отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений. Оценки перспективности проекта по технологии QuaD.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки : -определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; -заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Оценочная карта QuaD
3. График Ганта
4. График проведения и бюджет НИ
5. Определение ресурсоэффективности проекта

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Б	Брусов Андрей Владимирович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2Б	Брусову Андрею Владимировичу

Институт	Энергетический	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	1. Описание рабочего места на предмет : Разработка системы управления на пользовательском компьютере в помещении площадью 32 м². Проведение экспериментов на стенде с электрооборудованием напряжением до 220 вольт.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	1. Анализ вредных факторов, проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – Расчет освещения рабочей зоны, которое должно соответствовать СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03, не снижающее зрение человека. – Уменьшение уровня шума. – Проверка уровня воздействия электромагнитного излучения и статического электричества. 2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – Составление правил работы с исследуемым оборудованием для предотвращения травматизма от движущихся механизмов. – Мероприятия для уменьшения вибрации. – Электробезопасность. 3. Охрана окружающей среды: – Правила утилизации твердых отходов. – Анализ влияния электромагнитного и теплового излучения. Меры уменьшения влияния данных факторов. 4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – Наиболее вероятным ЧС при исследовании и проверке двухзонного электропривода постоянного тока являются пожар на рабочем месте. 5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – Перечень законодательных и нормативных документов в порядке их цитирования по пунктам раздела.
Перечень расч-го и граф-го материала:	Расчет искусственного освещения для помещения.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Б	Брусов А.В.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 98 с., 21 рисунок, 25 таблиц, 22 источников.

Ключевые слова: ДВУХЗОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ, ТИРИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, СИНТЕЗ, РЕГУЛЯТОР, ТОК, ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ, СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.

Объектом исследования является двухзонный электропривод постоянного тока.

Цель работы – исследование динамики двухзонного электропривода при регулировании скорости при изменении напряжения на якоре и потока обмотки возбуждения при различных типах регуляторов.

В процессе работы использовалось как специальное обеспечение (MATLAB R2013a), так и стандартные программы (Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Visio).

В результате выполнения выпускной квалификационной работы было осуществлено исследование двухзонного электропривода постоянного тока, соответствующее условиям технического задания.

В процессе исследования произведен выбор силового оборудования, проведен синтез контуров, произведено моделирование двухзонного электропривода и выбрана комбинация регуляторов обеспечивающая наилучшие показатели переходных процессов.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2013.

Оглавление

Введение.....	9
1. Применение двухзонного электропривода постоянного тока в промышленности.....	11
1.1 Применение двухзонного электропривода постоянного тока главного движения металлорежущих станков.	12
1.2 Применение двухзонного электропривода постоянного тока движения прокатных станов.	13
2. Выбор электродвигателя двухзонного электропривода постоянного тока. 15	
2.1 Определение сил и моментов, действующих в системе электропривода. Приведение их к валу двигателя.....	15
2.2 Построение приближенной нагрузочной диаграммы и её анализ.	17
2.3 Выбор и проверка двигателя.....	18
3. Расчет параметров силовой цепи тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока.....	22
3.1 Выбор схемы тиристорного преобразователя.....	22
3.2 Выбор трансформатора.	23
3.3 Выбор вентиля.	27
3.4 Определение величины индуктивности сглаживающего дросселя.....	30
3.5 Расчет параметров силовой цепи.	32
3.6 Определение предельных углов управления и построение предельных характеристик электропривода.....	32
4. Параметры двухзонного электропривода постоянного тока.....	35
5. Синтез структуры двухзонного электропривода постоянного тока.....	38
5.1 Синтез контура тока.	38
5.2 Синтез контура скорости.....	39
5.3 Синтез контура тока возбуждения.	41
5.4 Синтез контура ЭДС.....	42
6. Исследование динамических характеристик двухзонного электропривода постоянного тока при различных структурах регуляторов	44
7. Исследование динамических характеристик двухзонного электропривода постоянного тока при различных структурах регуляторов с учетом кривой намагничивания двигателя.....	54
8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	59

8.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	60
8.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	60
	Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.	60
8.1.2	Технология QuaD.	61
8.1.3	SWOT-анализ.....	64
8.2	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.	72
8.3	Планирование научно-исследовательских работ.	72
8.3.1	Структура работ в рамках научного исследования.	72
8.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ.	73
8.3.3	Разработка графика проведения научного исследования.	75
8.3.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).	78
8.3.4.1	Основная заработная плата исполнителей темы.	79
8.3.4.2	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.	82
8.3.4.3	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	82
8.3.4.4	Накладные расходы.	83
8.3.4.5	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.	84
8.4	Определение ресурсоэффективности проекта.	84
9.	Социальная ответственность	88
9.1	Производственная безопасность.	88
9.1.1	Описание технологического процесса и рабочего места.....	88
9.1.2	Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	89
9.1.3	Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	90
9.2	Экологическая безопасность.	92
9.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	93
9.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	94
	Заключение.	96
	Список литературы:	97

Введение

Современное производство требует применение наиболее эффективных средств производства и увеличение требований к свойствам производимой продукции, что приводит к применению имеющих наиболее совершенное механическое и электротехническое оснащение промышленных установок и агрегатов. Важнейшую роль в решении задач комплексной автоматизации производства имеет регулируемый электропривод переменного и постоянного тока, наиболее отвечающие предъявляемым требованиям при сравнительно низкой стоимости электрооборудования.

Электропривод постоянного тока может обеспечить необходимые характеристики, но у двигателя имеется коммутационный предел по максимальной частоте вращения, зависящий от мощности и питаются от сети от тиристорного преобразователя. Помимо этого, электропривод постоянного тока потребляет из питающей сети реактивную мощность, портя этим сеть, вызывает искажение синусоидальной формы напряжения системы электроснабжения. Поэтому данные факторы сдерживают усовершенствование таких электроприводов.

Электроприводы с двигателем переменного тока не имеют вредных факторов по максимальной частоте вращения и обеспечивают некоторые режимы даже лучше, чем электропривод постоянного тока. Также двигатели переменного тока имеют большие экономические достоинства как наименее дорогие, надежные и не требующие дорогостоящих с относительно небольшим К.П.Д. преобразовательных установок.

Отдельную нишу в электрических приводах постоянного тока имеют электроприводы с двухзонным регулированием скорости. Двухзонные электроприводы используются в промышленном оборудовании, где необходимо регулирование скорости как ниже, так и выше номинальной. Регулирование скорости электропривода производится как за счет изменением напряжения на якоре, так и изменением величины магнитного потока. Для обеспечения наилучших энергетических показателей электропривода регулирование

скорости в пределах от нуля до номинальной происходит при номинальном потоке возбуждения изменяя только напряжения на якоре, а для изменения скорости вверх от номинальной регулирование производится за счет изменения тока возбуждения при номинальном напряжении или ЭДС якоря.

1. Применение двухзонного электропривода постоянного тока в промышленности

Двухзонное регулирование скорости электропривода применяется в производственных механизмах, у которых работа на скорости выше номинальной происходит с малым моментом сопротивления на валу и наоборот, на низкой скорости необходимо наиболее высокое (номинальное) значение момента.[1]

Электропривод с двухзонным регулированием обеспечивает регулирование скорости ниже номинальной скорости (первая зона) посредством изменения напряжения на якоре при номинальном потоке возбуждения, а регулирование выше номинальной – путем изменения магнитного потока (вторая зона) при неизменном напряжении на якоре.

Регулирование скорости двигателя во второй зоне может происходить по принципу независимого, зависимого или независимого управления по отношению к изменению напряжения на якоре двигателя. При независимом управлении частота вращения двигателя в каждой из зон обеспечивается собственными датчиками, которые обеспечивают изменение напряжения на якоре либо магнитного потока возбуждения двигателя. Системы с зависимым управлением напряжения на якоре и потоком возбуждения двигателя предусматривают задание скорости в двух зонах одним датчиком. Эти системы наиболее просты и имеют лучшие динамические показатели. В данных системах управление скоростью выше номинальной осуществляется либо в функции напряжения, либо в функции противоЭДС двигателя.

При этом схему управления потоком возбуждения выполняют таким образом, что при изменении напряжения от нуля до номинального напряжения якоря либо ЭДС двигателя от 0 до $(0,9 - 0,95) E_{дн}$, напряжение на входе контура регулирования возбуждением остается постоянным и поток двигателя не изменяется и имеет номинальное значение. При значениях ЭДС двигателя либо напряжения якоря, близких к номинальным, на вход контура возбуждения подается сигнал обратной связи по напряжению либо ЭДС двигателя, это

приводит к уменьшению потока возбуждения. Причем полное уменьшение потока от номинального значения до минимального осуществляется при изменении напряжения якоря двигателя или противоЭДС двигателя всего на 5%, поэтому основное изменение скорости выше номинальной осуществляется за счет изменения магнитного потока. В некоторых случаях для большего быстродействия электропривода при работе во второй зоне ЭДС преобразователя цепи якоря берут с некоторым запасом. В таком случае, при возмущениях со стороны нагрузки, наибольшая часть ее будет компенсироваться посредством изменения напряжения на зажимах двигателя, поскольку контур регулирования возбуждением обладает большой инерционностью и ток возбуждения будет изменяться в небольших пределах. Таким образом, электропривод во второй зоне может обладать таким же быстродействием, как и в первой зоне. В этом заключается основное преимущество зависимого принципа регулирования.

Область применения двухзонного электропривода постоянного тока: машиностроение, металлургия, стройиндустрия, целлюлозно-бумажная, горная, нефтяная и другие отрасли промышленности.

1.1 Применение двухзонного электропривода постоянного тока главного движения металлорежущих станков.

В настоящее время для привода главного движения металлорежущего станка в основном используется тиристорный электропривод постоянного тока с двухзонным регулированием частоты вращения. Несмотря на появление других типов электроприводов главного движения (асинхронного с частотным регулированием, вентильного на базе синхронного двигателя с электромагнитным возбуждением) при мощностях выше 15 кВт электроприводы постоянного тока по своим технико-экономическим показателям на сегодняшний день остаются предпочтительными.[2]

С ростом уровня автоматизации станков увеличиваются требования к приводам главного движения в части достижения наиболее хороших

энергетических и масса-габаритных показателей, большего диапазона регулирования скорости вращения при неизменной мощности. Электропривод главного движения должен иметь широкий диапазон регулирования скорости вращения двигателя при неизменной мощности до 1:10 с максимальной скоростью вращения до 5000 об/мин, за счет чего можно упростить кинематическую цепь станка, вплоть до исключения механических переборов шпиндельного узла.

1.2 Применение двухзонного электропривода постоянного тока движения прокатных станов.

В настоящее время прокатный цех представляет собой сложный комплекс механического и электрического оборудования. Следует отметить, что прокатные цеха имеют большое число электроприводов. Так, например, на непрерывном широкополосном стане горячей прокатки имеется почти 2000 электродвигателей.[3]

К электрическому управлению прокатных станов предъявляются высокие требования, основанные на особенностях работы привода этих станов.

В число особенностей работы электропривода валков прокатных станов входят: большое число включений (до 1000 включений в час для реверсивных станов), ударный характер нагрузки, превышающий номинальную нагрузку двигателей, и разгон или торможение двигателя с металлом в валках, обеспечение большой производительности прокатных станов.

Исходя из этого к электроприводу предъявляются такие требования как:

- широкие пределы регулирования скорости;
- большая перегрузочная способность по моменту;
- высокая эксплуатационная надежность;
- не большой маховый момент;
- большой пусковой момент;
- жесткие механические характеристики.

На основании требований, которые предъявляют к электроприводу, осуществляется выбор типа электродвигателя. Широким пределом регулирования, высокой перегрузочной способностью, большим КПД, не большим маховый момент и высокой надежностью обладают двигатели постоянного тока с независимым возбуждением.

2. Выбор электродвигателя двухзонного электропривода постоянного тока

2.1 Определение сил и моментов, действующих в системе электропривода. Приведение их к валу двигателя.

Усилие резца рассчитывается по формуле:

$$F_Z = F_{Zтабл} \cdot K_1 \cdot K_2,$$

где, $F_{Zтабл}$ - сила резания выбираем из таблицы 7 [4], принимаем равную

$$F_{Zтабл} = 680 \text{ кг} ;$$

K_1 - коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала;

K_2 - коэффициент, зависящий от скорости и переднего угла точения.

Зная исходные данные определим, что

$$F_Z = 680 \cdot 0.85 \cdot 1 = 510 \text{ кг} = 4998 \text{ Н}$$

Зная скорость резания и усилие, определяем мощность резания:

$$P_Z = \frac{F_Z \cdot v_{рез}}{60 \cdot 1000},$$

$$P = \frac{4998 \cdot 84,375}{60 \cdot 1000} = 7,028 \text{ кВт}.$$

Переходим от частоты вращения шпинделя к угловой скорости:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30},$$

$$\omega_2 = \frac{\pi \cdot 254,702}{30} = 26,658 \text{ рад/с},$$

$$\omega_3 = \frac{\pi \cdot 198,3}{30} = 20,755 \text{ рад/с},$$

поскольку мощность резания постоянна, то зная скорость резания и мощность, определяем момент:

$$M = \frac{P_Z}{\omega},$$

тогда

$$M_1 = \frac{7,028 \cdot 10^3}{29,4} = 239,047 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = \frac{7,028 \cdot 10^3}{26,658} = 263,635 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = \frac{7,028 \cdot 10^3}{20,755} = 338,617 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для определения мощности на валу двигателя при точении, делим мощность резания на КПД кинематической цепи, равный $\eta = 0,93$ (из условия задания).

Для точения:

$$N = \frac{P_z}{\eta} = \frac{7,028}{0,93} = 7,556 \text{ кВт}$$

Определяем мощность холостого хода на шпинделе станка:

$$P_0 = \alpha \cdot P_{\max}$$

где, α - коэффициент постоянных потерь, равный $\alpha = 0,07$;

$P_{\max}$ - максимальная мощность резания;

$$P_0 = 7556 \cdot 0,07 = 528,92 \text{ Вт}$$

Зная мощность холостого хода, находим момент холостого хода:

$$M_0 = \frac{30 \cdot P_0}{\pi \cdot n_0}$$

где, n_0 - номинальная частота вращения шпинделя (выбираем максимальную);

$$M_0 = \frac{30 \cdot 528,92}{\pi \cdot 395,889} = 12,764 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Нужно знать кроме основного времени вспомогательное [5].

Время на установку и снятие детали.....0.1 мин;

Время перехода с одной ступени на другую.....0.1 мин;

Время подвода инструмента к детали.....0.2 мин.

2.2 Построение приближенной нагрузочной диаграммы и её анализ.

Строим нагрузочную диаграмму на основании времени и моментов резания, рассчитанных выше.

Нагрузочная диаграмма приведена на рисунке 1.

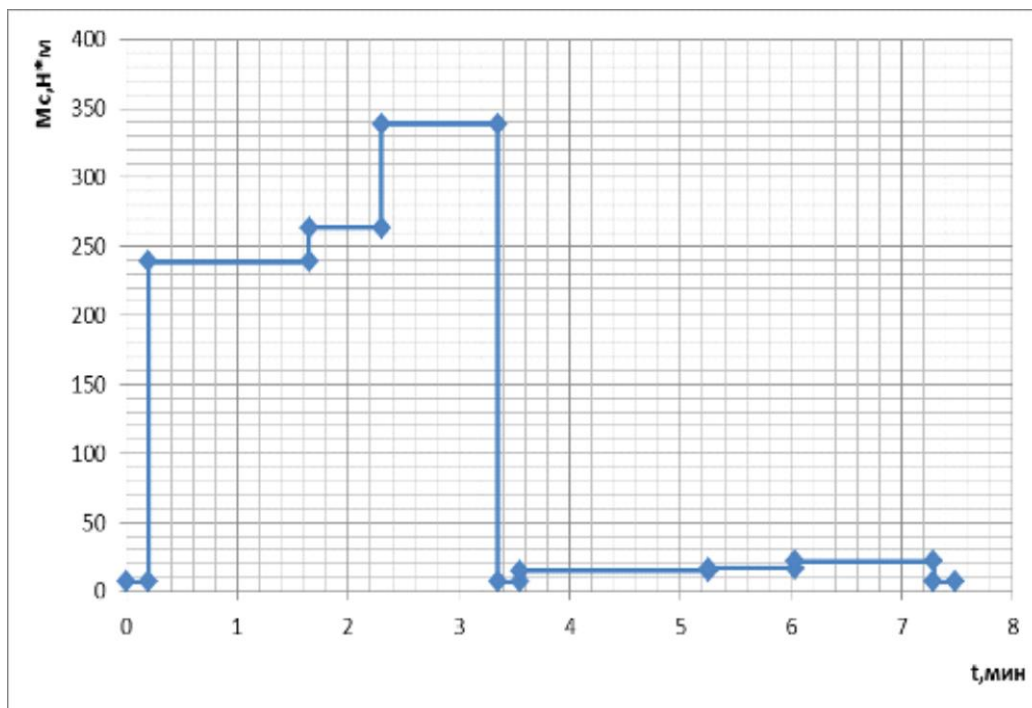


Рисунок 1- Упрощённая нагрузочная диаграмма.

После построения нагрузочной диаграммы производим предварительный выбор двигателя. С помощью нагрузочной диаграммы механизма определяем средний или среднеквадратичный статический момент, который необходим для нахождения номинального момента двигателя.

В построенной диаграммы видно, что время цикла $t_{\text{ц}} = 7,485 \text{ мин.}$, выбираем двигатель с повторно-кратковременным режимом работы (S3). Повторно-кратковременный режим работы S3 - последовательность одинаковых циклов работы, каждый из которых имеет время работы при неизменной нагрузке, за которое машина не успевает нагреваться до установившейся температуры, и время покоя, за которое двигатель не успевает охладиться до температуры окружающей среды.

В данном режиме работы цикл такой, что пусковой ток не имеет большого влияния на превышение температуры. Продолжительности цикла не хватает для достижения теплового равновесия и не превышает 10 минут.

2.3 Выбор и проверка двигателя.

Для выборе двигателя был использован источник.[6]

Из построенной диаграммы механизма находим средний статический момент, который нужен для нахождения момента искомого двигателя:

$$M_{с.ср} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{Ci} \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i},$$

где, M_{Ci} - i -ый статический момент резания на i -м интервале диаграммы;

t_i - продолжительность i -го интервала;

i - количество интервалов.

Зная величину все моменты, а также их длительность, определяем средний статический момент:

$$\begin{aligned} \overline{M}_{СТАТ.} &= \frac{7 \cdot 0,2 + 239,047 \cdot 1,45 + 263,635 \cdot 0,65 + 338,617 \cdot 1,05}{7,485} + \\ &+ \frac{7 \cdot 0,2 + 15,059 \cdot 1,709 + 16,723 \cdot 0,776 + 21,715 \cdot 1,25 + 7 \cdot 0,2}{7,485} = 126,063 \text{ Н} \cdot \text{м} . \end{aligned}$$

Определяем номинальный момент двигателя определяется по формуле:

$$M_H = K_\partial \cdot M_{с.ср},$$

где, K_∂ - коэффициент, учитывающий динамические режимы работы электропривода (обычно принимают $K_\partial = 1.1 \dots 1.3$),

тогда

$$M_H = 1,3 \cdot 126,063 = 163,882 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

В качестве расчетной номинальности скорости выбираем

$\omega_{н.р.} = 41,436 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, поскольку регулирование осуществляется вниз от этой

скорости.

На валу двигателя статический момент определяется по формуле:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_{H,p.}};$$

Из этого находим номинальную мощность двигателя:

$$P_H = M_H \cdot \omega_{H,p.}$$

$$P_H = M_H \cdot \omega_{H,p.} = 163,882 \cdot 41,436 = 6790,6146 \text{ Вт}$$

По найденной мощности по справочнику выбираем электродвигатель.

При выборе двигателя опираемся на следующее:

Двигатель должен поддерживать периодический повторно-кратковременный режим работы (S3). Его мощность должна быть больше чем $P_H = 6 \text{ кВт}$; выбираем двигатель постоянного тока 2ПФ160МГУХЛ4. Параметры двигателя приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры	Значение
Мощность, кВт	7,5
Напряжение на якоре, В	220
КПД, %	85
Номинальная частота вращения, об/мин	3000
Максимальная частота вращения, об/мин	4000
Момент инерции, кг·м ²	0,095
Сопротивление обмотки якоря при 15°C, Ом	0,14
Сопротивление обмотки добавочных полюсов при 15°C, Ом	0,094
Сопротивление обмотки возбуждения при 15°C, Ом	111
Индуктивность цепи якоря, мГн	2,85
Индуктивность цепи возбуждения, мГн	13,3
Номинальный ток цепи возбуждения, А	2,04

Пересчет сопротивлений на рабочую температуру.

Класс изоляции В, рабочая температура 90 °С, тогда:

$$\Delta T = T_{\text{раб}} - T = 90 - 15 = 75^\circ \text{C}$$

$$R_{\text{яДВ}} = R_{\text{яДВ15}} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) = 0,14 \cdot (1 + 0,004 \cdot 75) = 0,182 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ДБДВ}} = R_{\text{ДБДВ15}} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) = 0,094 \cdot (1 + 0,004 \cdot 75) = 0,112 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ВДВ}} = R_{\text{ВДВ15}} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) = 111 \cdot (1 + 0,004 \cdot 75) = 144,3 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{об.гор.}} = R_{\text{яДВ}} + R_{\text{ДБДВ}} = 0,182 + 0,122 = 0,304 \text{ Ом}$$

Номинальный ток двигателя:

$$I_n = \frac{P_n}{\eta \cdot U_n} = \frac{7500}{0,85 \cdot 220} = 40,1 \text{ А}.$$

Определим номинальную частоту вращения:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{\pi \cdot 3000}{30} = 314 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Определим максимальную частоту вращения:

$$\omega_{\text{max}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{max}}}{30} = \frac{\pi \cdot 4000}{30} = 418,9 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Находим суммарный момент инерции электропривода:

$$J = \delta \cdot J_{\text{об}} + \frac{J_{\text{м}}}{j^2} + m \cdot \left(\frac{g}{\omega} \right)^2,$$

где, δ - коэффициент, учитывающий момент инерции движущихся частей передаточного механизма ($\delta = 1,1 \dots 1,3$);

$J_{\text{об}}$ - момент инерции двигателя приведен в таблице 1;

$J_{\text{м}}$ - момент инерции вращающихся частей механизма, по заданию

$$J_{\text{м}} = 0,018 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

j - передаточное число механизма, по заданию $j = 1,8$;

m - масса поступательно движущихся частей механизма;

g - линейная скорость поступательно движущихся масс;

ω - угловая скорость двигателя.

Поскольку для привода главного движения, поступательно движущаяся часть механизма отсутствует, тогда $m \cdot \left(\frac{g}{\omega}\right)^2 = 0$.

Откуда, определяем суммарный момент инерции электропривода:

$$J = 1,3 \cdot 0,095 + \frac{0,018}{1,8^2} = 0,129 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

3. Расчет параметров силовой цепи тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока

3.1 Выбор схемы тиристорного преобразователя.

Силовая схема системы тиристорный преобразователь – двигатель (ТП – Д) представляет собой реверсивный ТП (рис.2) собранный по трёхфазной мостовой схеме выпрямления и работающий по совместному способу управления группами вентилей. Рассчитать и выбрать; согласующий трансформатор, силовые вентили, уравнивательные реакторы и сглаживающий дроссель.[7]

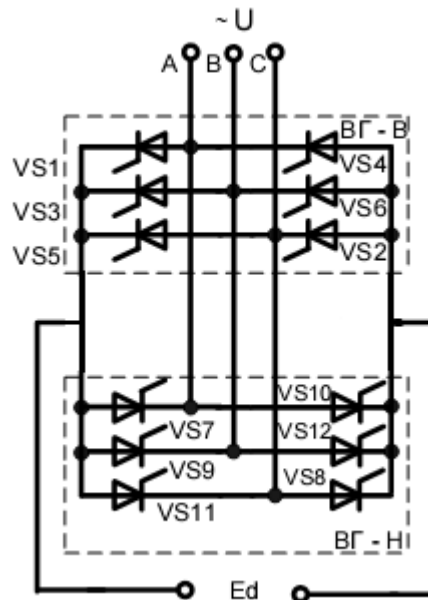


Рисунок 2. Силовая схема системы ТП – Д

В таблице 2 приведены основные соотношения для данной схемы ТП.

Таблица 2

Среднее значение тока через вентиль		$0,33 \cdot I_d$
Максимальная величина тока через вентиль		$1,045 \cdot I_d$
Переменная составляющая выпрямленного напряжения	Частота пульсаций	300
	Амплитуда первичной гармоники	$0,057 \cdot E_{d0}$
$U_{обр. max} = K_{и.обр} \cdot E_{d0}$		$1,045 \cdot E_{d0}$

Обмотки трансформатора	Вторичная	$U_2 = K_{U2} \cdot E_{d0}$	$0,428 \cdot E_{d0}$
		$I_2 = K_{i2} \cdot I_d$	$0,815 \cdot I_d$
		$P_2 = K_{S2} \cdot P_d$	$1,045 \cdot P_d$
	Первичная	U_1	$0,428 \cdot E_{d0} \cdot K_{mp}$
		I_1	$0,815 \cdot I_d \cdot \frac{1}{K_{mp}}$
		$P_1 = K_{S1} \cdot P_d$	$1,045 \cdot P_d$
Расчетная $P_T = K_S \cdot P_d$		$1,045 \cdot P_d$	

3.2 Выбор трансформатора.

Для согласования заданной величины выпрямленного тока U_H и питающей сети $U_{1Л}$, а также для ограничения скорости изменения тока в тиристорах, рассчитаем и выберем трансформатор.

Выбор сглаживающего силового трансформатора для питания вентильного преобразователя происходит по расчетным значениям фазного тока $I_{2ф}$ и напряжения $U_{2ф}$ вторичной обмотки и типовой мощности трансформатора $S_{тр}$.

Расчетное значение напряжения вторичной обмотки трансформатора:

$$U_{2ф.расч} = K_{U2} \cdot \frac{1}{K_c} \cdot K_\alpha \cdot (1 - K_R \cdot \frac{I_{max}}{I_H}) \cdot U_{об.мах},$$

где, $K_{U2}=0,428$ – расчетный коэффициент, характеризующий состояние $U_{2ф} / E_{d0}$ в идеальном выпрямителе, указан в таблице 2;

K_c – коэффициент учитывающий заданное снижение напряжения сети:

$$K_c = \frac{U_{c.min}}{U_{c.н.}} = \frac{323}{380} = 0,85;$$

K_α – коэффициент учитывающий заданное снижение напряжения сети:

$$K_\alpha = \frac{1}{\cos \alpha_{min}} = \frac{1}{1} = 1,$$

где, α_{min} – минимальный угол управления, выбранный равным 0;

K_R – коэффициент, учитывающий падение напряжения в преобразователе
 $K_R=(0,05 - 0,1)$, выбираем $K_R=0,1$;

$U_{\text{дв. max}}$ - максимальное напряжение на двигателе, значение которого определяется по выражению:

$$U_{\text{дв. max}} = C \cdot \omega_{\text{max}} + I_{\text{max}} \cdot R_{\text{дв.зоп}},$$

где, I_{max} - максимальное значение тока двигателя, обеспечиваемое преобразователем при скорости вращения двигателя ω_{max} :

$$I_{\text{max}} = 2 \cdot I_n = 80,2 \text{ A};$$

C - конструктивный коэффициент двигателя:

$$C = \frac{U_n - I_n \cdot R_{\text{дв.зоп}}}{\omega_n} = \frac{220 - 40,1 \cdot 0,304}{314} = 0,661 \text{ В} \cdot \text{с},$$

тогда

$$U_{\text{дв. max}} = C \cdot \omega_{\text{max}} + I_{\text{max}} \cdot R_{\text{дв.зоп}} = 0,661 \cdot 418,9 + 80,2 \cdot 0,304 = 301,5 \text{ В}.$$

Подставляем полученные значения в формулу расчетного напряжения вторичной обмотки трансформатора, получаем:

$$U_{2\phi, \text{расч}} = 0,428 \cdot \frac{1}{0,85} \cdot 1 \cdot (1 - 0,1 \cdot \frac{80,2}{40,1}) \cdot 301,5 = 182,2 \text{ В}.$$

Расчет действующего значения фазного тока вторичной обмотки трансформатора:

$$I_{2\phi, \text{расч}} = K_i \cdot K_{i2} \cdot I_d,$$

где, K_i - коэффициент учитывающий отклонение формы тока от прямоугольной, $K_i = (1,05 - 1,1)$ выбираем $K_i = 1,1$;

K_{i2} - коэффициент, характеризующий отношение $\frac{I_{2\phi}}{I_d}$ и зависящий от схемы выпрямления, указан в таблице 2;

I_d - среднее значение выпрямленного тока, $I_d = I_n$:

тогда

$$I_{2\phi, \text{расч}} = 1,1 \cdot 0,815 \cdot 40,1 = 35,9 \text{ А}.$$

Расчетная типовая мощность трансформатора, определяется по формуле:

$$S_{тр.расч} = K_c \cdot \frac{U_{2ф.расч}}{K_{U2}} \cdot K_i \cdot I_d,$$

где, K_c - коэффициент схемы, указан в таблице 2,

$$S_{тр.расч} = 1,045 \cdot \frac{182,2}{0,428} \cdot 1,1 \cdot 0,815 = 19620 \text{ ВА}.$$

Максимальная мощность которую отдает трансформатор при режиме рабочей перегрузки двигателя:

$$S_{тр.мах} = K_c \cdot (1 + K_R \cdot \frac{I_{мах}}{I_H}) \cdot K_i \cdot P_{дв.мах},$$

где, $P_{дв.мах}$ - наибольшая мощность потребляемая двигателем в режиме допустимой перегрузки, определяется:

$$P_{дв.мах} = U_{дв.мах} \cdot I_{мах} = 301,5 \cdot 80,2 = 24180 \text{ ВА},$$

тогда

$$S_{тр.мах} = 1,045 \cdot (1 + 0,1 \cdot \frac{80,2}{40,1}) \cdot 1,1 \cdot 24180 = 33360 \text{ ВА}.$$

На основании расчетных данных выбирается силовой трансформатор, имеющий параметры:

1. $S_n \geq S_{тр.расч}$;
2. $S_n \geq \frac{S_{тр.расч}}{\lambda_{тр}}$;
3. $U_{1/I} \geq U_{с.н.}$;
4. $U_{2ф.н.} \geq U_{2ф.расч}$;
5. $I_{2ф.н.} \geq I_{2ф.расч}$.

где, $\lambda_{тр} = 3,5$ - коэффициент допустимой перегрузки трансформатора определяется из [1].

Выбираю трансформатор ТТ-25, параметры которого указаны в таблице 3.

Таблица 3.

Схема соединения	Тип	$U_{1Л}$, В	S_n , кВА	$P_{2н}$, кВА	$\Delta P_{кз}$, Вт	$U_{кз}$, %
Y/Y	ТТ-25	380	25	25,4	560	8

Принимаем линейное напряжение вторичной обмотки трансформатора из стандартного ряда наиболее близкое к расчетному: $U_{2Л} = 335$ В.

Номинальное фазное напряжение трансформатора:

$$U_{2ф.н.} = \frac{U_{2Л}}{\sqrt{3}} = \frac{335}{\sqrt{3}} = 193,4 \text{ В}.$$

Номинальное значение фазного тока вторичной обмотки трансформатора:

$$I_{2ф.н.} = \frac{P_{2н}}{m_2 \cdot U_{2ф.н.}} = \frac{25,4 \cdot 10^3}{3 \cdot 193,4} = 42 \text{ А},$$

где, $m_2 = 3$ – число фаз вторичной обмотки.

Выбранный трансформатор удовлетворяет всем условиям:

1. $S_n \geq S_{тр.расч}$, $25 \text{ кВА} \geq 19,62 \text{ кВА}$;
2. $S_n \geq \frac{S_{тр.расч}}{\lambda_{тр}}$, $25 \text{ кВА} \geq \frac{33,36 \text{ кВА}}{3,5}$, $25 \text{ кВА} \geq 9,5 \text{ кВА}$;
3. $U_{1Л} \geq U_{с.н.}$, $380 \text{ В} \geq 380 \text{ В}$;
4. $U_{2ф.н.} \geq U_{2ф.расч}$, $193,4 \text{ В} \geq 182,2 \text{ В}$;
5. $I_{2ф.н.} \geq I_{2ф.расч}$, $42 \text{ А} \geq 35,9 \text{ А}$.

Активное сопротивление обмоток трансформатора на фазу:

$$R_{тр.ф.} = \frac{\Delta P_{кз}}{m_2 \cdot I_{2ф.н.}^2} = \frac{25,4 \cdot 10^3}{3 \cdot 42^2} = 0,106 \text{ Ом},$$

где, $\Delta P_{кз}$ – активная мощность потерь К.З. в обмотках трансформатора.

Полное сопротивление обмоток трансформатора на фазу:

$$Z_{тр.ф.} = \frac{U_{кз} \% \cdot U_{2ф.н.}}{100 \cdot I_{2ф.н.}} = \frac{8 \cdot 193,4}{100 \cdot 42} = 0,276 \text{ Ом},$$

где, $U_{кз} \%$ – относительное напряжение короткого замыкания трансформатора.

Индуктивное сопротивление обмоток трансформатора на фазу:

$$X_{mp.ф.} = \sqrt{Z_{mp.ф.}^2 + R_{mp.ф.}^2} = \sqrt{0,276^2 + 0,106^2} = 0,255 \text{ Ом}.$$

Индуктивность одной фазы вторичной обмотки трансформатора:

$$L_{mp.ф.} = \frac{X_{mp.ф.}}{\omega_c} = \frac{0,255}{314} = 0,000812 \text{ Гн},$$

где, ω_c - угловая частота питающей сети:

$$\omega_c = 2 \cdot \pi \cdot f_c = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314 \text{ с}^{-1}.$$

3.3 Выбор вентиляей.

Вентиль выбирается по току и напряжению. Нагрузочная способность вентиляей определяется максимально возможной температурой полупроводниковой структуры, которая не должна быть больше в любых режимах работы: длительная работа с номинальным током двигателя; рабочая перегрузка двигателя в течение определенного времени; аварийные режимы в течение времени срабатывания защиты. Нагрев вентиля зависит от величины и формы тока, а также от условий охлаждения. Все эти параметры должны быть учтены при верном выборе вентиля по току. Для увеличения надежности работы преобразователя нужно устанавливать вентили на типовых охладителях а также применять естественное воздушное охлаждение.

Среднее значение тока через тиристор при номинальном токе двигателя:

$$I_B = \frac{I_n + I_y}{m_2} = \frac{40,1 + 4,8}{3} = 11,8 \text{ А},$$

где, I_y - среднее значение уравнильного тока, следует выбрать из условия $I_y \leq 0,15I_n$, выбираю $I_y = 4,8$.

Максимальная величина обратного напряжения, прикладываемого к вентилю:

$$U_{B.\max} = K_{\text{зн}} \cdot K_{\text{Уобр}} \cdot \frac{1}{K_{U_2}} \cdot U_{2\text{ф.н.}},$$

где, $K_{\text{зн}}$ - коэффициент запаса по напряжению, учитывающий возможные повышения напряжения питающей сети и всевозможные импульсные напряжения, вызванные коммутацией, допустимо принят $K_{\text{зн}} = 1,5 - 1,8$, выбираю $K_{\text{зн}} = 1,8$;

$K_{\text{Уобр}}$ - коэффициент схемы по обратному напряжению, приведен в таблице 2,

тогда

$$U_{B.\max} = 1,8 \cdot 1,045 \cdot \frac{1}{0,428} \cdot 193,4 = 850 \text{ В}.$$

По найденным значениям I_B и $U_{B.\max}$ выбираю тиристоры Т112-16-12, его параметры приведены в таблице 4.

Таблица 4.

Обозначение параметра	Наименование, единица измерения	Значение
$I_{\text{по}}$	Макс. допустимый сред. ток в откр. сост., А	16
$U_{\text{обр.,н}}, U_{\text{обр.,max}}$	Повторяющееся имп. обр. напряжение и повторяющееся имп. напряжение в закр. сост., В	1000
$U_{\text{ос.,и}}$	Имп. напряжение в откр. сост., В	1,8
$I_{\text{у.,от}}$	Отпирающий постоянный ток управления, мА	40
$I_{\text{обр.,н}}, I_{\text{обр}}$	Повторяющийся имп. обр. ток и повторяющийся имп. ток в закр. сост., мА	3
$U_{\text{у.,от}}$	Отпирающее пост. напряжение упр., В	3
U_0	Пороговое напряжение, В	1.1
$t_{\text{вкл}}$	Время выключения, мкс	63
$\Delta U_{\text{пр}}$	Среднее значение прямого падения напряжения при предельном токе, В	1,5
$R_{\text{д}}$	Динамическое сопротивление, Ом	0,009

τ_{pn}	Максимально допустимая температура структуры, °С	140
ΔU_{np}	Среднее значение прямого падения напряжения при предельном токе, В	1,5

Условия правильного выбора тиристора:

Класс вентиля по напряжению не менее: $\frac{U_{B.\max}}{100} = 12;$

$$I_B \leq I_{II},$$

где, I_{II} - предельный ток тиристора при определенной температуре внешней среды:

$$I_{II} = \frac{\sqrt{U_0^2 + 4 \cdot K_\phi^2 \cdot R_d \cdot \frac{\tau_{pn} - \tau_c}{R_T}} - U_0}{2 \cdot K_\phi^2 \cdot R_d} = \frac{\sqrt{1,1^2 + 4 \cdot 1,73^2 \cdot 0,009 \cdot \frac{140 - 40}{5,3}} - 1,1}{2 \cdot 1,73^2 \cdot 0,009} = 13,1 \text{ A},$$

где, $K_\phi = 1,73$ - коэффициент формы тока через вентиль;

$\tau_c = 40^\circ \text{C}$ - температура окружающей среды.

$$I_B \leq I_{II}, 11,8 \text{ A} \leq 13,1 \text{ A}.$$

Можно сделать вывод, что тиристор выбран верно т.к. условия правильного выбора выполняются.

В таблице 5 приведены основные соотношения для мостовой (двухполупериодной) схемы выпрямителя со встречно-параллельной схемой соединения вентилях.

Таблица 5.

m_2	m_B	Число уравнительных контуров	$U_{y.\max}$ В	$K_{y.\max}$	$\sum L_{mp.y.}$ Гн	$\sum L_{mp.n.}$ Гн	$\sum L_{y.n.}$ Гн	$\sum R_{mp.n.}$ Ом	$\sum R_{y.n.}$ Ом
3	6	2	$U_{2\phi.m}$	0,18	$2 \cdot L_{mp.\phi.}$	$2 \cdot L_{mp.\phi.}$	$2 \cdot L_y$	$2 \cdot R_{mp.\phi.}$	$2 \cdot R_y$

Примечания: $U_{2\phi.m} = \sqrt{2} \cdot U_{2\phi.n} = 273,5 \text{ В}$ - амплитудное значение фазного напряжения вторичной обмотки трансформатора;

R_y - сопротивление уравнительного реактора, Ом.

3.4 Определение величины индуктивности сглаживающего дросселя.

При питании от тиристорного преобразователя в двигателе помимо постоянной составляющей тока протекает переменные составляющие, величина которых зависит от угла управления и параметров нагрузки. Это приводит повышению нагрева двигателя, ухудшению условий коммутации и снижению жесткости механических характеристик поскольку расширяется зона прерывистых токов.

При включении сглаживающего дросселя в якорную цепь происходит ограничение величины переменных составляющих и, тем самым, улучшить использование двигателя, его коммутацию и электромеханические характеристики, однако одновременно вызывает увеличение габаритов и веса привода, его стоимости и ухудшение динамических свойств.

В регулируемом электроприводе индуктивность сглаживающего дросселя выбирают по условию уменьшения зоны прерывистого тока при отдельном управлении преобразователем до уровня минимального значения тока нагрузки (или тока холостого хода двигателя) и ограничения пульсаций тока двигателя до допустимых значений.

Определение необходимой величины индуктивности сглаживающего дросселя из условия ограничения зоны прерывистых токов.

Минимальное значение индуктивности цепи выпрямленного тока для получения гранично-непрерывного режима находится по:

$$L_{KH1} = \frac{1}{\omega_{c1}} \cdot K_{cp, \max} \cdot \frac{U_{2\phi, n}}{K_{U2} \cdot I_{d, cp.}} = \frac{1}{314} \cdot 0,825 \cdot \frac{193,4}{0,428 \cdot 40,1} = 0,03 \text{ Гн},$$

$$\text{где, } K_{cp, \max} = 1 - \frac{\pi}{m_B} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\pi}{m_B} = 1 - \frac{\pi}{6} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\pi}{6} = 0,825;$$

$$I_{d, cp.} - \text{значение начально-непрерывного тока, } I_{d, cp.} = I_n.$$

Индуктивность добавочного дросселя определяется по следующей формуле:

$$L_{ДР1} = L_{KH1} - \sum L_{тр.н.} - L_{\delta\phi} = 0,035 - 1,623 \cdot 10^{-3} - 2,85 \cdot 10^{-3} = 0,025 \text{ Гн},$$

где, $\sum L_{тр.н.}$ - суммарная индуктивность обмоток трансформатора в контуре выпрямленного тока (табл. 5);

$L_{\delta\phi}$ - индуктивность двигателя.

Определение необходимой величины индуктивности сглаживающего дросселя по условию ограничения пульсаций выпрямленного тока.

Пульсации выпрямленного напряжения приводят к пульсациям выпрямленного тока, за счет которых ухудшается коммутация двигателя и увеличивается его нагрев. Ограничиваемая с учетом влияния первой гармоники необходимая величина индуктивности цепи выпрямленного тока может быть определена по выражению:

$$L_{KH2} = \frac{E_{d(1)\max} \cdot 100}{\omega_{c1} \cdot m_B \cdot P_{(1)\%} \cdot I_d} = \frac{109,5 \cdot 100}{314 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 40,1} = 0,03 \text{ Гн},$$

где, $E_{d(1)\max}$ - действующее значение первой гармоники пульсирующего напряжения при угле управления $\alpha = 90^\circ$:

$$E_{d(1)\max} = \frac{U_{2\phi.н.} \cdot \sqrt{2} \cdot m_B}{K_{U2} \cdot (m_B^2 - 1)} = \frac{193,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 6}{0,428 \cdot (6^2 - 1)} = 109,5 \text{ В};$$

$P_{(1)\%}$ - допустимое действующее значение первой гармоники выпрямленного тока в процентах, рекомендованные значения $P_{(1)\%} = (2 - 15)$, выбираю $P_{(1)\%} = 5\%$;

$$I_d = I_n.$$

Индуктивность добавочного дросселя при раздельном управлении преобразователем определяется следующим образом:

$$L_{ДР2} = L_{KH2} - \sum L_{тр.н.} - L_{\delta\phi} = 0,03 - 1,623 \cdot 10^{-3} - 2,85 \cdot 10^{-3} = 0,025 \text{ Гн}.$$

По найденному значению индуктивности $L_{ДР}$ и номинальному току двигателя выбирается тип дросселя и его параметры. Выбран дроссель ДС-50/0,6, его параметры приведены в таблице 6.

Таблица 6

Тип	$L_{ДР}$, мГн	$I_{ДР.доп}$, А	$R_{ДР}$, Ом
ДС-50/0,6	0,6	50	0,102

3.5 Расчет параметров силовой цепи.

Расчетное сопротивление силовой цепи:

$$R_{ЯЦ} = R_{\text{ов.сop}} + \sum R_{\text{тр.н.}} + R_{ДР} + R_K,$$

где, $\sum R_{\text{тр.н.}}$ - суммарное сопротивление обмоток трансформатора в контуре выпрямленного тока (табл. 5);

$R_{ДР}$ - активное сопротивление сглаживающего дросселя;

R_K - сопротивление, выносимое за счет коммутации анодных токов:

$$R_K = \frac{m_B \cdot X_{\text{тр.ф.}}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 0,255}{2 \cdot \pi} = 0,243,$$

тогда

$$R_{ЯЦ} = 0,304 + 0,211 + 0,102 + 0,243 = 0,861 \text{ Ом}.$$

Расчетное значение индуктивности силовой цепи:

$$L_{ЯЦ} = L_{\text{ов}} + \sum L_{\text{тр.н.}} + R_{ДР} = 2,85 \cdot 10^{-3} + 1,623 \cdot 10^{-4} + 3,573 \cdot 10^{-4} = 0,029 \text{ Гн}.$$

Электромагнитная постоянная силовой цепи:

$$T_{ЯЦ} = \frac{L_{ЯЦ}}{R_{ЯЦ}} = \frac{0,029}{0,861} = 0,034 \text{ с}.$$

3.6 Определение предельных углов управления и построение предельных характеристик электропривода

Определяется значение минимального угла управления преобразователем $\alpha_{\min}$ в выпрямительном режиме:

$$\alpha_{\min} = \arccos \left(\frac{C \cdot \omega_{\max} + R_{ЯЦ} \cdot I_{\max}}{k_c \cdot E_{d0}} \right) = \arccos \left(\frac{0,661 \cdot 418,9 + 0,861 \cdot 80,2}{0,85 \cdot 301,5} \right) = 28,57^\circ$$

где $E_{d0} = U_{\text{ов.макс}} = 301,5 \text{ В}$.

Принимаем $\alpha_{\min} = 30^\circ$.

Электромеханическая характеристика разомкнутой системы при $\alpha_{\min} = 30^\circ$ рассчитывается по:

$$\begin{aligned}\omega(0) &= \frac{1}{C} \cdot (k_c \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\min} - R_{ЯЦ} \cdot I_d) = \\ &= \frac{1}{0,661} \cdot (0,85 \cdot 301,5 \cdot \cos 30^\circ - 0,861 \cdot 0) = 304,14 \text{ рад} / \text{с} ; \\ \omega(40,1) &= \frac{1}{C} \cdot (k_c \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\min} - R_{ЯЦ} \cdot I_d) = \\ &= \frac{1}{0,661} \cdot (0,85 \cdot 301,5 \cdot \cos 30^\circ - 0,861 \cdot 40,1) = 285,7 \text{ рад} / \text{с} ;\end{aligned}$$

Рассчитывается и строится электромеханическая характеристика при работе токопроводящей группы в режиме предельного инвертирования:

$$\omega(I) = \frac{1}{C} \cdot (k_c \cdot E_{d0} \cdot \cos \delta - (\frac{m_B}{\pi} \cdot X_{mp.\phi} - R_{ЯЦ}) \cdot I);$$

где, $\delta = \delta_1 + \delta_2$;

δ_1 - угол соответствующий времени восстановления запирающих свойств вентилей:

$$\delta_1 = \frac{180 \cdot \omega_c \cdot t_{\epsilon}}{\pi} = \frac{180 \cdot 314 \cdot 5,8 \cdot 10^{-4}}{\pi} = 10,5 \text{ град} ;$$

δ_2 - предельно допустимое значение асимметрии импульсов, выбирается $\delta_2 = 1 \text{ град}$,

тогда

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = 10,5 + 1 = 11,5 \text{ град}.$$

$$\begin{aligned}\omega(0) &= \frac{1}{0,661} \cdot (0,85 \cdot 301,5 \cdot \cos 11,5^\circ - (\frac{6}{\pi} \cdot 0,255 - 0,861) \cdot 0) = 379,7 \text{ рад} / \text{с} ; \\ \omega(40,1) &= \frac{1}{0,661} \cdot (0,85 \cdot 301,5 \cdot \cos 11,5^\circ - (\frac{6}{\pi} \cdot 0,255 - 0,861) \cdot 40,1) = 386,6 \text{ рад} / \text{с} ;\end{aligned}$$

Результаты сводим в таблицу 8 и строим характеристики I_d .

Таблица 8

	Характеристика 1		Характеристика 2	
I, A	0	40,1	0	-40,1
$\omega, \frac{rad}{c}$	304,14	285,7	379,7	386,6

По данным табл. 8 строим характеристики (рисунок 3).

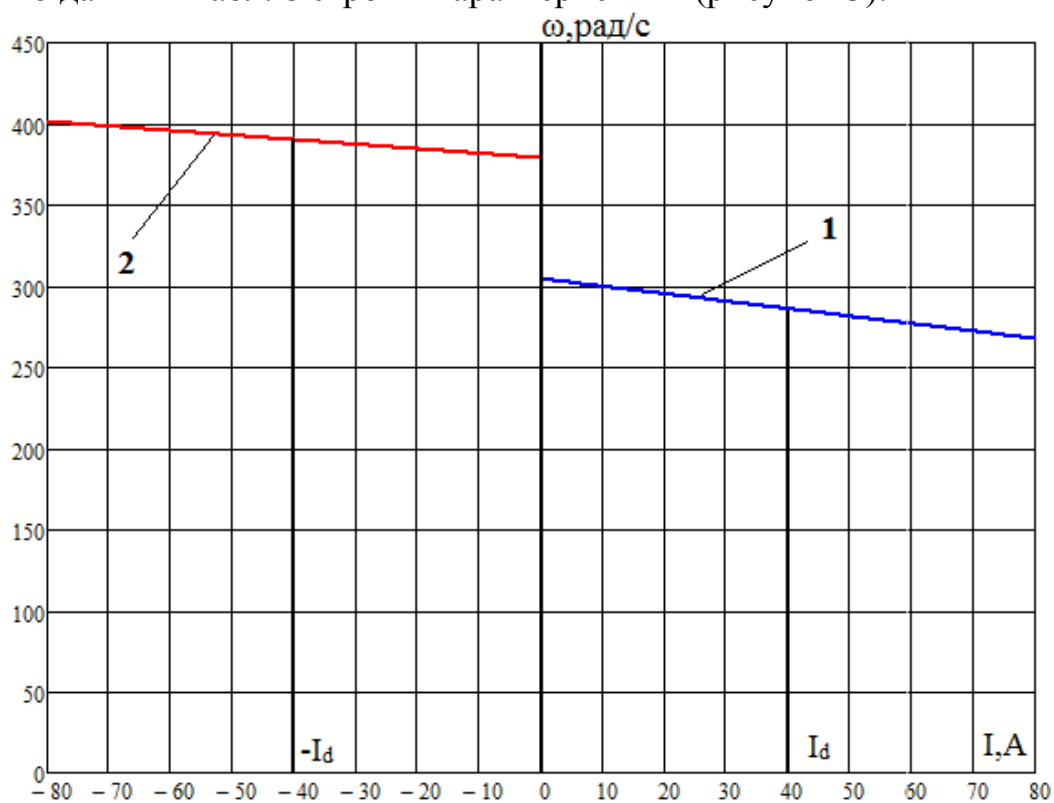


Рисунок 3 – Предельные характеристики электропривода:

1 – электромеханическая характеристика привода в выпрямительном режиме при $\alpha_{\min} = 30^\circ$; 2 – характеристика предельного инвертирования.

4. Параметры двухзонного электропривода постоянного тока

Структурная схема системы подчиненного регулирования двухзонного электропривода представлена на рисунке 4.[8]

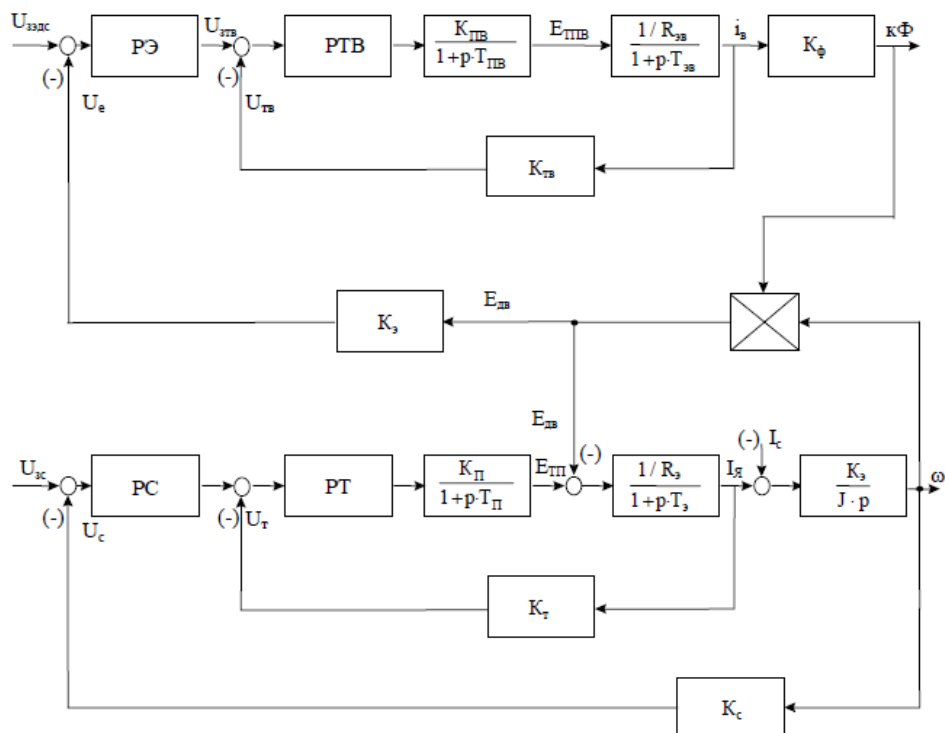


Рисунок 4 – Структурная схема двухзонного электропривода.

Определим параметры тиристорного электропривода:

Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя:

$$K_{II.\max} = \frac{\pi \cdot k_{yo} \cdot E_{d0}}{2 \cdot U_{OII.\max}} = \frac{\pi \cdot 1 \cdot 301,5}{10} = 94,7,$$

где, $k_{yo}=1$ коэффициент передачи управляющего органа;

$$2 \cdot U_{оп. max} = 8 \div 10 B$$
 - размах линейного опорного напряжения;

принимаям $2 \cdot U_{оп. \max} = 10 В.$

Постоянная времени преобразователя:

$$T_{II} = \frac{0,5}{m_{\beta} \cdot f_c} = \frac{0,5}{6 \cdot 50} = 0,00167 c.$$

При моделировании передаточную функцию тиристорного преобразователя примем равной коэффициенту усиления преобразователя

$K_{П.маx}$:

$$\frac{K_{П.маx}}{1 + p \cdot T_{П}} = \frac{94,7}{1 + 0,00167p} ;$$

Передаточная функция электрического контура системы преобразователь – двигатель:

$$\frac{K_{\mathcal{E}}}{1 + p \cdot T_{\mathcal{E}}} = \frac{1,16}{1 + 0,034p} ,$$

где $K_{\mathcal{E}} = \frac{1}{R_{яц}} = \frac{1}{0,861} = 1,16$ – коэффициент усиления электрического контура системы преобразователь – двигатель.

Электрическая постоянная времени:

$$T_{\mathcal{E}} = T_{яц} = 0,034с .$$

Постоянная времени регулятора тока:

$$T_T = 0,003с .$$

Постоянная времени регулятора скорости:

$$T_C = 0,0006с .$$

Постоянная времени регулятора тока возбуждения:

$$T_{ПВ} = 0,005с .$$

Электромагнитная постоянная времени цепи возбуждения:

$$T_{ЭВ} = \frac{L_{\mathcal{E}}}{R_{\mathcal{E}}} = \frac{13,3}{111} = 0,119с .$$

Передаточная функция механического контура системы:

$$\frac{K_{ЭМ}}{J \cdot p} = \frac{0,661}{0,129 \cdot p} ,$$

где $K_{ЭМ}$ - коэффициент электромеханической связи двигателя, равный конструктивному коэффициенту двигателя, $K_{ЭМ} = C = 0,661 В \cdot с$.

При линеаризации кривой намагничивания, используется коэффициент:

$$K_{\Phi} = \frac{k\Phi_n}{I_{вн}} = \frac{K_{ЭМ}}{I_{вн}} = \frac{0,661}{2,04} = 0,32.$$

Коэффициент обратной связи по току:

$$K_T = \frac{10}{I_{\max}} = \frac{10}{80,2} = 0,125.$$

Коэффициент обратной связи по скорости:

$$K_C = \frac{10}{\omega_H} = \frac{10}{314} = 0,032.$$

Коэффициент обратной связи по току возбуждения:

$$K_{TB} = \frac{10}{I_{\text{вн}}} = \frac{10}{2,04} = 4,9.$$

Коэффициент обратной связи по ЭДС:

$$K_{OЭ} = \frac{10}{\omega_H \cdot K_{эм}} = \frac{10}{314 \cdot 0,661} = 0,048.$$

Коэффициент усиления преобразователя тока возбуждения:

$$K_{ПВ} = 26.$$

5. Синтез структуры двухзонного электропривода постоянного тока

5.1 Синтез контура тока.

Контур тока является внутренним контуром, поэтому сначала проводим его оптимизацию. Структурная схема контура представлена на рисунке 5.

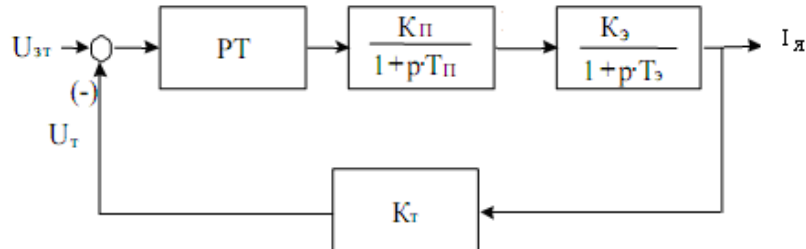


Рисунок 5 – Структурная схема контура тока.

Настройка контура тока на технический оптимум:

Передаточная функция разомкнутого контура тока при оптимизации по модульному оптимуму – $W_{PKT}(p) = \frac{1}{2T_\mu \cdot p(T_\mu \cdot p + 1)}$, тогда выражение для оптимизации регулятора:

$$W_{PKT}(p) = W_{PT}(p) \cdot \frac{K_\Pi}{1 + T_\Pi \cdot p} \cdot \frac{K_\varepsilon}{1 + T_\varepsilon \cdot p} \cdot \frac{K_T}{1 + T_T \cdot p} = \frac{1}{2 \cdot T_\mu \cdot p(T_\mu \cdot p + 1)};$$

$$W_{PT}(p) = \frac{(1 + T_\Pi \cdot p) \cdot (T_\varepsilon \cdot p + 1) \cdot (T_T \cdot p + 1)}{2T_\mu \cdot p \cdot (T_\mu \cdot p + 1) \cdot K_\Pi \cdot K_\varepsilon \cdot K_T}.$$

Так как $T_\Pi < T_\varepsilon$, то малая некомпенсируемая постоянная времени $T_\mu = T_\Pi$.

Значит:

$$W_{PT}(p) = \frac{(1 + T_\Pi \cdot p) \cdot (T_\varepsilon \cdot p + 1) \cdot (T_T \cdot p + 1)}{2T_\Pi \cdot p \cdot (T_\Pi \cdot p + 1) \cdot K_\Pi \cdot K_\varepsilon \cdot K_T} \dots$$

Анализируя полученную передаточную функцию регулятора, видно, что используем ПИД-регулятор. Тогда:

$$W_{PT}(p) = \frac{(1 + T_T \cdot p)(T_\varepsilon \cdot p + 1)}{T_T \cdot p} \cdot \frac{T_T}{\underbrace{2 \cdot T_\Pi \cdot K_\Pi \cdot K_\varepsilon \cdot K_T}_{K_\Pi}},$$

где:

коэффициент пропорциональности:

$$K_{PT} = \frac{T_T}{2 \cdot T_{II} \cdot K_{II} \cdot K_{\Sigma} \cdot K_T} = \frac{0,003}{2 \cdot 0,00167 \cdot 94,7 \cdot 1,16 \cdot 0,125} = 0,065;$$

постоянные времени: $T_{II} = T_T = 0,003 \text{ с}$, $T_{\delta} = T_{\Sigma} = 0,034 \text{ с}$.

Для того чтоб получить ПИ-регулятор, перемножаем скобки в знаменателе в передаточной функции:

$$W_{PT}(p) = \frac{(1 + T_{II} \cdot p) \cdot (T_{\Sigma} \cdot p + 1) \cdot (T_T \cdot p + 1)}{2 T_{II} \cdot p \cdot (T_{II} \cdot p + 1) \cdot K_{II} \cdot K_{\Sigma} \cdot K_T}.$$

Тогда:

$$W_{PT}(p) = \frac{(1 + T_T \cdot p)(T_{\Sigma} \cdot p + 1)}{p} \cdot \frac{1}{2 \cdot T_{II} \cdot K_{II} \cdot K_{\Sigma} \cdot K_T} = \frac{p \cdot \underbrace{(T_{\Sigma} + T_T)}_{T_{II}} + 1}{\underbrace{(T_{\Sigma} + T_T)}_{T_{II}} \cdot p} \cdot \frac{T_{\Sigma} + T_T}{\underbrace{2 \cdot T_{II} \cdot K_{II} \cdot K_{\Sigma} \cdot K_T}_{K_{II}}},$$

где:

коэффициент пропорциональности:

$$K_{PT} = \frac{T_{\Sigma} + T_T}{2 \cdot T_{II} \cdot K_{II} \cdot K_{\Sigma} \cdot K_T} = \frac{0,034 + 0,003}{2 \cdot 0,00167 \cdot 94,7 \cdot 1,16 \cdot 0,125} = 0,807;$$

постоянные времени: $T_{II} = T_{\Sigma} + T_T = 0,034 + 0,003 = 0,037 \text{ с}$.

5.2 Синтез контура скорости.

Настройка контура скорости на технический оптимум:

Передаточная функция разомкнутого контура скорости при

оптимизации по модульному оптимуму – $W_{PKC}(p) = \frac{1}{p \cdot 2 \cdot T_{\mu C} \cdot (p \cdot T_{\mu C} + 1)}$, тогда

выражение для оптимизации регулятора:

$$W_{PKC}(s) = \frac{1}{p \cdot 2 \cdot T_{\mu C} \cdot (p \cdot T_{\mu C} + 1)} = W_{PC}(p) \cdot \frac{1}{2 \cdot T_{\mu T} \cdot p + 1} \cdot \frac{K_{\Sigma M}}{J \cdot p} \cdot \frac{K_C}{K_T} \cdot \frac{(1 + T_T \cdot p)}{(1 + T_C \cdot p)};$$

$$W_{PC}(s) = \frac{1}{\cancel{p} \cdot 2 \cdot T_{\mu C} \cdot (\cancel{p \cdot T_{\mu C}} + 1)} \cdot \frac{(\cancel{2 \cdot T_{\mu T}} \cdot p + 1) \cdot J \cdot \cancel{p} \cdot K_T}{K_C \cdot K_{\Sigma M}} \cdot \frac{(1 + T_C \cdot p)}{(1 + T_T \cdot p)} = \frac{J \cdot K_T}{2 \cdot T_{\mu C} \cdot K_C \cdot K_{\Sigma M}} \cdot \frac{(1 + T_C \cdot p)}{(1 + T_T \cdot p)}.$$

За малую постоянную времени контура скорости принимаем:
 $T_{\mu C} = 2 \cdot T_{\mu T} = 2 \cdot T_{\Pi} = 2 \cdot 0,00167 = 0,00334 \text{ с}$,

Анализируя полученную передаточную функцию регулятора, видно, что используем П-регулятор с фильтром. Тогда:

$$K_{PC} = \frac{J \cdot K_T}{2 \cdot T_{\mu C} \cdot K_C \cdot K_{ЭМ}} = \frac{0,129 \cdot 0,125}{2 \cdot 0,00334 \cdot 0,032 \cdot 0,668} = 112,9.$$

Настройка контура скорости на симметричный оптимум:

Передаточная функция разомкнутого контура скорости при оптимизации по симметричному оптимуму – $W_{PKC}(p) = \frac{1 + 4T_{\mu C} \cdot p}{8 \cdot T_{\mu C}^2 \cdot p^2 \cdot (T_{\mu C} \cdot p + 1)}$, тогда выражение

для оптимизации регулятора:

$$W_{PKC}(p) = \frac{1 + 4T_{\mu C} \cdot p}{8 \cdot T_{\mu C}^2 \cdot p^2 \cdot (T_{\mu C} \cdot p + 1)} = W_{PC}(p) \cdot \frac{1}{2 \cdot T_{\mu T} \cdot p + 1} \cdot \frac{K_{ЭМ}}{J \cdot p} \cdot \frac{K_C}{1 + T_C \cdot p} \cdot \frac{1 + T_T \cdot p}{K_T};$$

$$W_{PC}(p) = \frac{1 + 4T_{\mu C} \cdot p}{p^2 \cdot 8 \cdot T_{\mu C}^2 \cdot (p \cdot T_{\mu C} + 1)} \cdot \frac{(2 \cdot T_{\mu T} \cdot p + 1) \cdot J \cdot \cancel{p} \cdot K_T}{K_C \cdot K_{ЭМ}} \cdot \frac{1 + T_C \cdot p}{1 + T_T \cdot p}.$$

За малую постоянную времени контура скорости принимаем:
 $T_{\mu C} = 2 \cdot T_{\mu T} = 2 \cdot T_{\Pi} = 2 \cdot 0,00167 = 0,00334 \text{ с}$.

Получаем:

$$W_{PC}(p) = \frac{8 \cdot T_{\mu T} \cdot p + 1}{8 \cdot T_{\mu T} \cdot p} \cdot \frac{J \cdot K_T}{T_{\mu T} \cdot 4 \cdot K_{ЭМ} \cdot K_C} \cdot \frac{1 + T_C \cdot p}{1 + T_T \cdot p} = \frac{K_{\Pi} \cdot (1 + T_{PC} \cdot p)}{T_{PC} \cdot p} \cdot \frac{1 + T_C \cdot p}{1 + T_T \cdot p} \dots$$

Анализируя полученную передаточную функцию регулятора, видно, что используем ПИ-регулятор с фильтром. Тогда:

коэффициент пропорциональности:

$$K_{PC} = \frac{J \cdot K_T}{4 \cdot T_{\mu T} \cdot K_C \cdot K_{ЭМ}} = \frac{0,129 \cdot 0,125}{4 \cdot 0,00167 \cdot 0,032 \cdot 0,668} = 112,9.$$

постоянная времени: $T_{PC} = 8 \cdot T_{\mu T} = 8 \cdot T_{\Pi} = 8 \cdot 0,00167 = 0,0134 \text{ с}$.

5.3 Синтез контура тока возбуждения.

Настройка контура тока на технический оптимум:

Передаточная функция разомкнутого контура тока при оптимизации по модульному оптимуму – $W_{PKTB}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu TB} \cdot p \cdot (T_{\mu TB} \cdot p + 1)}$, тогда выражение для оптимизации регулятора:

$$W_{PKTB}(p) = W_{PTB}(p) \cdot \frac{K_{ПВ}}{1 + T_{ПВ} \cdot p} \cdot \frac{1/R_B}{1 + T_{ЭВ} \cdot p} \cdot \frac{K_{ТВ}}{1 + T_{ТВ} \cdot p} = \frac{1}{2T_{\mu TB} p (T_{\mu TB} p + 1)};$$

$$W_{PTB}(p) = \frac{(1 + T_{ПВ} \cdot p) \cdot (T_{ЭВ} \cdot p + 1) \cdot (T_{ТВ} \cdot p + 1) \cdot R_B}{2T_{\mu TB} \cdot p \cdot (T_{\mu TB} \cdot p + 1) \cdot K_{ПВ} \cdot K_{ТВ}}.$$

где, $T_{\mu TB}$ - малая некомпенсируемая постоянная времени, $T_{\mu TB} = T_{ПВ}$.

Значит:

$$W_{PTB}(p) = \frac{(1 + T_{ПВ} \cdot p) \cdot (T_{ЭВ} \cdot p + 1) \cdot (T_{ТВ} \cdot p + 1) \cdot R_B}{2T_{ПВ} \cdot p \cdot (T_{ПВ} \cdot p + 1) \cdot K_{ПВ} \cdot K_{ТВ}}.$$

где, $T_{ТВ}$ - постоянная времени регулятора тока возбуждения, $T_{ТВ} = T_{ПВ}$.

Анализируя полученную передаточную функцию регулятора, видно, что используем ПИД-регулятор. Тогда:

$$W_{PTB}(p) = \frac{(1 + T_{ПВ} \cdot p)(T_{ЭВ} \cdot p + 1)}{T_{ПВ} \cdot p} \cdot \frac{R_B}{\underbrace{T_{ПВ} \cdot K_{ПВ} \cdot K_{ТВ}}_{K_{PTB}}},$$

где:

коэффициент пропорциональности:

$$K_{PTB} = \frac{R_B}{T_{ПВ} \cdot K_{ПВ} \cdot K_{ТВ}} = \frac{111}{0,005 \cdot 26 \cdot 4,9} = 174,3;$$

постоянные времени: $T_{II} = T_{ПВ} = 0,005 \text{ с}$, $T_{Д} = T_{ЭВ} = 0,119 \text{ с}$.

Для того чтоб получит ПИ-регулятор, перемножаем скобки в знаменателе в передаточной функции:

$$W_{PTB}(p) = \frac{(1 + T_{ПВ} \cdot p) \cdot (T_{ЭВ} \cdot p + 1) \cdot (T_{ТВ} \cdot p + 1) \cdot R_B}{2T_{ПВ} \cdot p \cdot (T_{ПВ} \cdot p + 1) \cdot K_{ПВ} \cdot K_{ТВ}}.$$

$$W_{PT}(p) = \frac{(1 + T_{ПВ} \cdot p)(T_{ЭВ} \cdot p + 1)}{p} \cdot \frac{R_B}{2 \cdot T_{ПВ} \cdot K_{ПВ} \cdot K_{ТВ}} = \frac{p \cdot \underbrace{(T_{ЭВ} + T_{ПВ})}_{T_{II}} + 1}{\underbrace{(T_{ЭВ} + T_{ПВ})}_{T_{II}} \cdot p} \cdot \frac{(T_{ЭВ} + T_{ПВ}) \cdot R_B}{\underbrace{2 \cdot T_{ПВ} \cdot K_{ПВ} \cdot K_{ТВ}}_{K_{II}}},$$

где:

коэффициент пропорциональности:

$$K_{PT} = \frac{(T_{ЭВ} + T_{ПВ}) \cdot R_B}{2 \cdot T_{ПВ} \cdot K_{ПВ} \cdot K_{ТВ}} = \frac{(0,119 + 0,005) \cdot 111}{2 \cdot 0,005 \cdot 26 \cdot 4,9} = 10,8 ;$$

постоянная времени: $T_{II} = T_{ЭВ} + T_{ПВ} = 0,119 + 0,005 = 0,124 \text{ с}.$

5.4 Синтез контура ЭДС.

Настройка контура ЭДС на модульный оптимум:

Передаточная функция разомкнутого контура тока при оптимизации по модульному оптимуму – $W_{PKЭ}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{μЭ} \cdot p \cdot (T_{μЭ} \cdot p + 1)}$, тогда выражение для оптимизации регулятора:

$$W_{PKЭ}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{μЭ} \cdot p \cdot (T_{μЭ} \cdot p + 1)} = W_{PЭ}(p) \cdot \frac{1}{1 + 2 \cdot p \cdot T_{μТВ}} \cdot K_{\Phi} \cdot K_{ОЭ} \cdot \omega_{\max};$$

$$W_{PЭ}(p) = \frac{(1 + 2 \cdot p \cdot T_{μТВ})}{2 \cdot T_{μЭ} \cdot p \cdot (T_{μЭ} \cdot p + 1) \cdot K_{\Phi} \cdot K_{ОЭ} \cdot \omega_{\max}},$$

где, $T_{μЭ}$ - малая некомпенсируемая постоянная времени, $T_{μЭ} = 2 \cdot T_{μТВ}$.

Значит:

$$W_{PЭ}(p) = \frac{1}{4 \cdot T_{μТВ} \cdot p \cdot \cancel{(2 \cdot T_{μТВ} \cdot p + 1)}} \cdot \frac{\cancel{(1 + 2 \cdot p \cdot T_{μТВ})}}{K_{\Phi} \cdot K_{ОЭ} \cdot \omega_{\max}} = \frac{1}{4 \cdot T_{μТВ} \cdot p \cdot K_{\Phi} \cdot K_{ОЭ} \cdot \omega_{\max}}.$$

Анализируя полученную передаточную функцию регулятора, видно, что используем И-регулятор.

Тогда:

$$W_{PЭ}(p) = \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{\underbrace{4 \cdot T_{\mu TB} \cdot K_{\Phi} \cdot K_{OЭ} \cdot \omega_{\max}}_{K_{\Pi}}},$$

где:

коэффициент пропорциональности:

$$K_{PЭ} = \frac{1}{4 \cdot T_{\mu TB} \cdot K_{\Phi} \cdot K_{OЭ} \cdot \omega_{\max}} = \frac{1}{4 \cdot 0,005 \cdot 0,32 \cdot 0,048 \cdot 418,9} = 7,77,$$

Настройка контура ЭДС на симметричный оптимум:

Передаточная функция разомкнутого контура скорости при оптимизации по симметричному оптимуму – $W_{PKЭ}(p) = \frac{1 + 4T_{\mu Э} \cdot p}{8 \cdot T_{\mu Э}^2 \cdot p^2 \cdot (T_{\mu Э} \cdot p + 1)}$, тогда выражение

для оптимизации регулятора:

$$W_{PKЭ}(p) = \frac{1 + 4T_{\mu Э} \cdot p}{8 \cdot T_{\mu Э}^2 \cdot p^2 \cdot (T_{\mu Э} \cdot p + 1)} = W_{PЭ}(p) \cdot \frac{1}{1 + 2 \cdot p \cdot T_{\mu TB}} \cdot K_{\Phi} \cdot K_{OЭ} \cdot \omega_{\max};$$

За малую постоянную времени контура ЭДС принимаем: $T_{\mu Э} = 2 \cdot T_{\mu TB}$.

Получаем:

$$W_{PЭ}(p) = \frac{1 + 4T_{\mu TB} \cdot p}{p^2 \cdot 8 \cdot T_{\mu TB}^2 \cdot (p \cdot 2 \cdot T_{\mu TB} + 1)} \cdot \frac{(2 \cdot T_{\mu TB} \cdot p + 1)}{K_{\Phi} \cdot K_{OЭ} \cdot \omega_{\max}};$$

$$W_{PЭ}(p) = \frac{8 \cdot T_{\mu TB} \cdot p + 1}{8 \cdot T_{\mu TB} \cdot p} \cdot \frac{1}{T_{\mu TB} \cdot 4 \cdot K_{\Phi} \cdot K_{OЭ} \cdot \omega_{\max}}.$$

Анализируя полученную передаточную функцию регулятора, видно, что используем ПИ-регулятор. Тогда:

коэффициент пропорциональности:

$$K_{PЭ} = \frac{1}{T_{\mu TB} \cdot 4 \cdot K_{\Phi} \cdot K_{OЭ} \cdot \omega_{\max}} = \frac{1}{4 \cdot 0,005 \cdot 0,32 \cdot 0,048 \cdot 418,9} = 7,77,$$

постоянные времени: $T_{PЭ} = 8 \cdot T_{\mu TB} = 8 \cdot T_{\mu Б} = 8 \cdot 0,005 = 0,04$ с.

6. Исследование динамических характеристик двухзонного электропривода постоянного тока при различных структурах регуляторов

Для построения динамических характеристик $\omega = f(t)$, $E_{\partial\partial} = f(t)$ и $\Phi = f(t)$ при пуске воспользуемся программой MATLAB (Simulink) и составим имитационную модель двухзонного электропривода постоянного тока при линеаризации кривой намагничивания, которая представлена на рисунке 6.

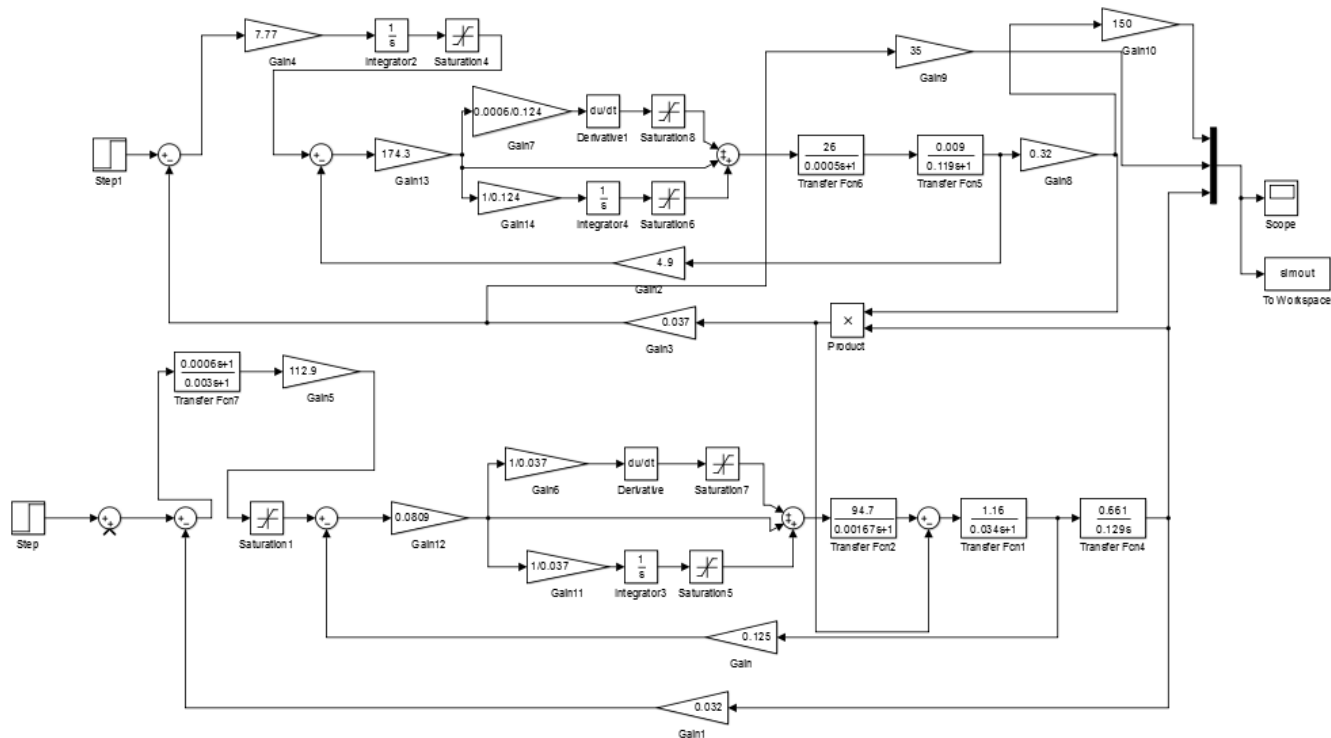


Рисунок 6 - Имитационная модель двухзонного электропривода постоянного тока при линеаризации кривой намагничивания

В таблице 8 приведены комбинации регуляторов при различных структурах.

Таблица 8.

№ комбинации	Структура регулятора тока	Структура регулятора скорости	Структура регулятора тока возбуждения	Структура регулятора ЭДС
1	ПИД	П	ПИД	И
2	ПИД	П	ПИД	ПИ

Продолжение таблицы 8.

3	ПИД	П	ПИ	И
4	ПИД	ПИ	ПИД	И
5	ПИ	П	ПИД	И
6	ПИД	П	ПИ	ПИ
7	ПИД	ПИ	ПИ	И
8	ПИ	ПИ	ПИД	И
9	ПИ	П	ПИ	И
10	ПИ	П	ПИД	ПИ
11	ПИД	ПИ	ПИД	ПИ
12	ПИ	ПИ	ПИ	ПИ
13	ПИ	ПИ	ПИ	И
14	ПИ	ПИ	ПИД	ПИ
15	ПИ	П	ПИ	ПИ
16	ПИД	ПИ	ПИ	ПИ

Ниже представлены графики переходных процессов при различных структурах регуляторов.

При комбинациях под номерами 1, 3, 4, 7 графики переходных процессов имеют одинаковый вид.

На рисунке 7 представлен вид динамических характеристик двухзонного электропривода постоянного тока, при его разгоне до максимальной скорости, с использованием данных комбинаций.

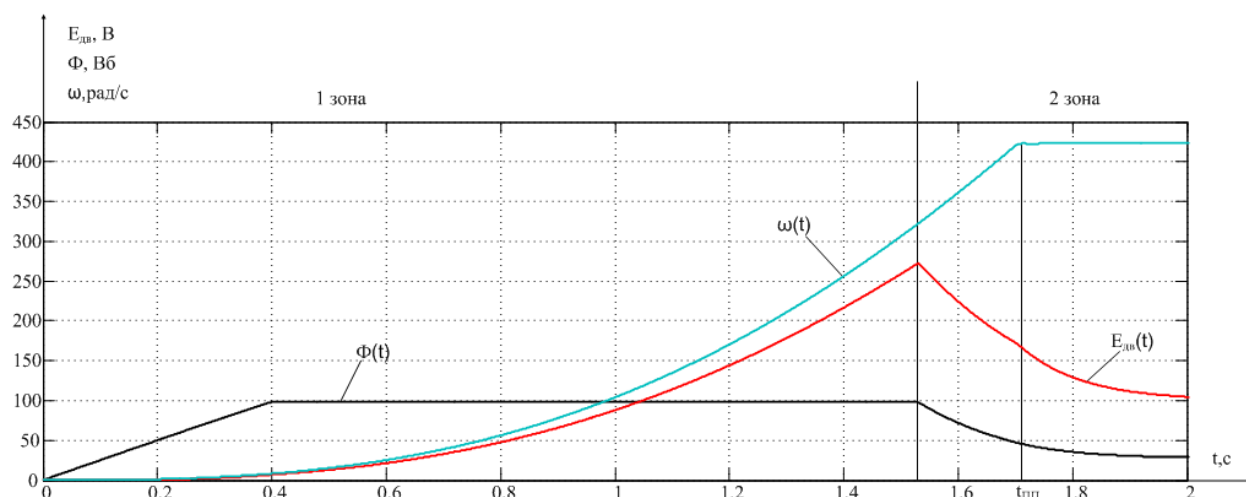


Рисунок 7 – Динамические характеристики электропривода при разгоне до максимальной скорости с использованием комбинации регуляторов под номерами 1, 3, 4, 7.

На рисунке 8 представлена динамические характеристики двухзонного электропривода постоянного тока, при его разгоне до номинальной скорости, с использованием комбинаций регуляторов под номерами 1, 3, 4, 7.

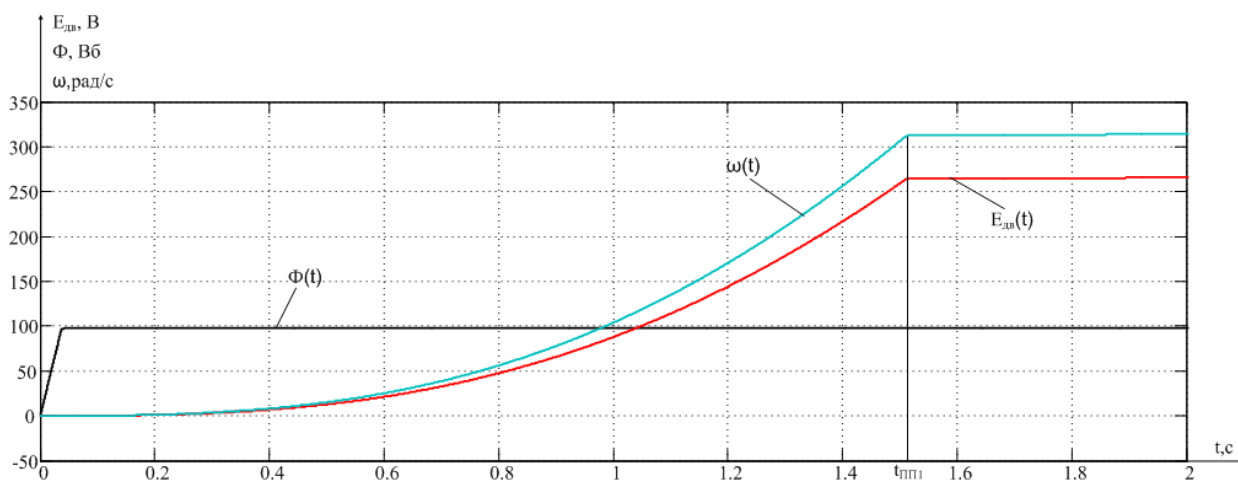


Рисунок 8 – Динамические характеристики электропривода при разгоне до номинальной скорости с использованием комбинаций регуляторов под номерами 1, 3, 4, 7.

При комбинациях под номерами 2, 6, 11, 16 графики переходных процессов имеют одинаковый вид.

На рисунке 9 представлены динамические характеристики двухзонного электропривода постоянного тока, при его разгоне до максимальной скорости, с использованием данных комбинаций.

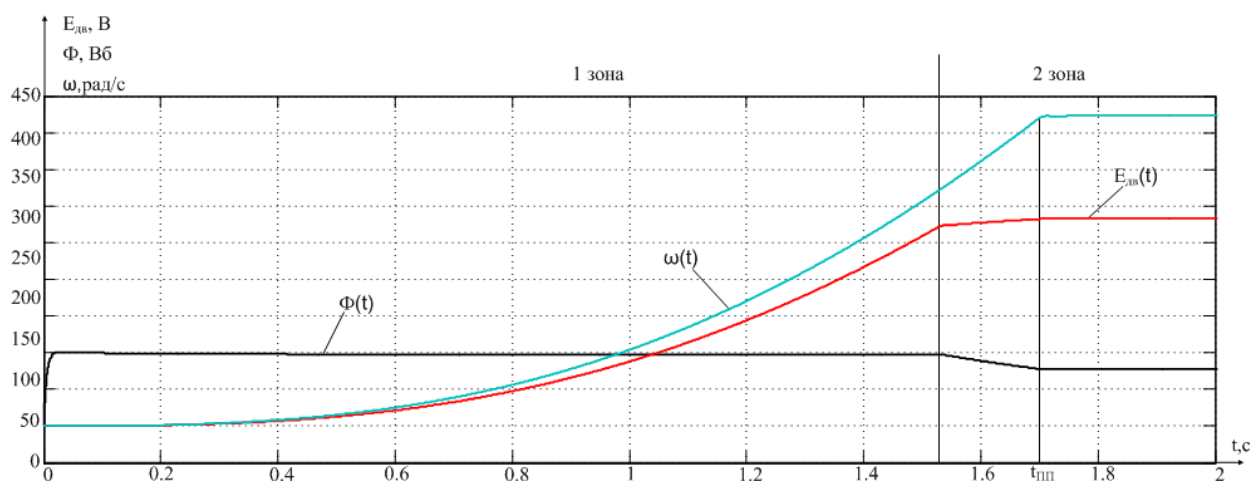


Рисунок 9 – Динамические характеристики электропривода при разгоне до максимальной скорости с использованием комбинаций регуляторов под номерами 2, 6, 11, 16.

На рисунке 10 представлена динамические характеристики двухзонного электропривода постоянного тока, при его разгоне до номинальной скорости, с использованием данных комбинаций регуляторов под номерами 2, 6, 4, 16.

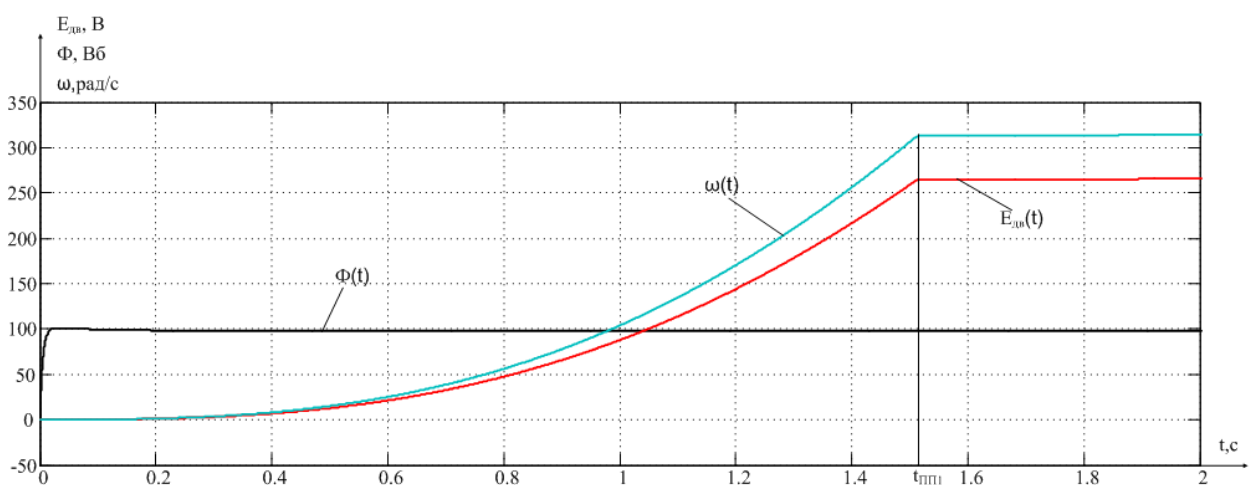


Рисунок 10 – Динамические характеристики электропривода при разгоне до номинальной скорости с использованием комбинаций регуляторов под номерами 2, 6, 11, 16.

При комбинациях под номерами 5, 8, 9, 13 графики переходных процессов имеют одинаковый вид.

На рисунке 11 представлена динамические характеристики двухзонного электропривода постоянного тока, при его разгоне до максимальной скорости, с использованием данных комбинаций регуляторов.

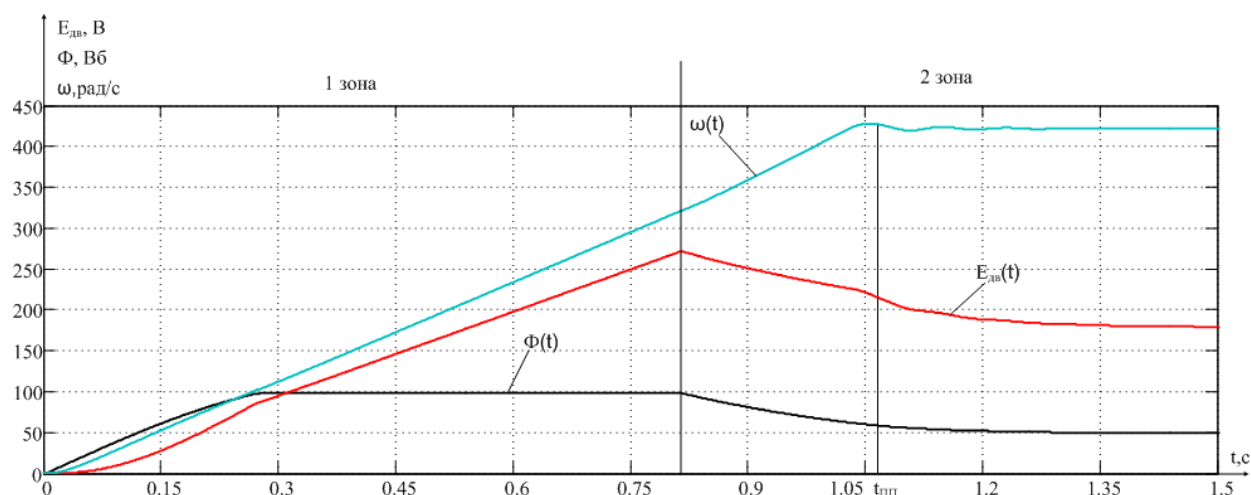


Рисунок 11 – Динамические характеристики электропривода при разгоне до максимальной скорости с использованием комбинаций регуляторов под номерами 5, 8, 9, 13.

На рисунке 12 представлена динамические характеристики двухзонного электропривода постоянного тока, при его разгоне до номинальной скорости, с использованием комбинаций регуляторов под номерами 5, 8, 9, 13.

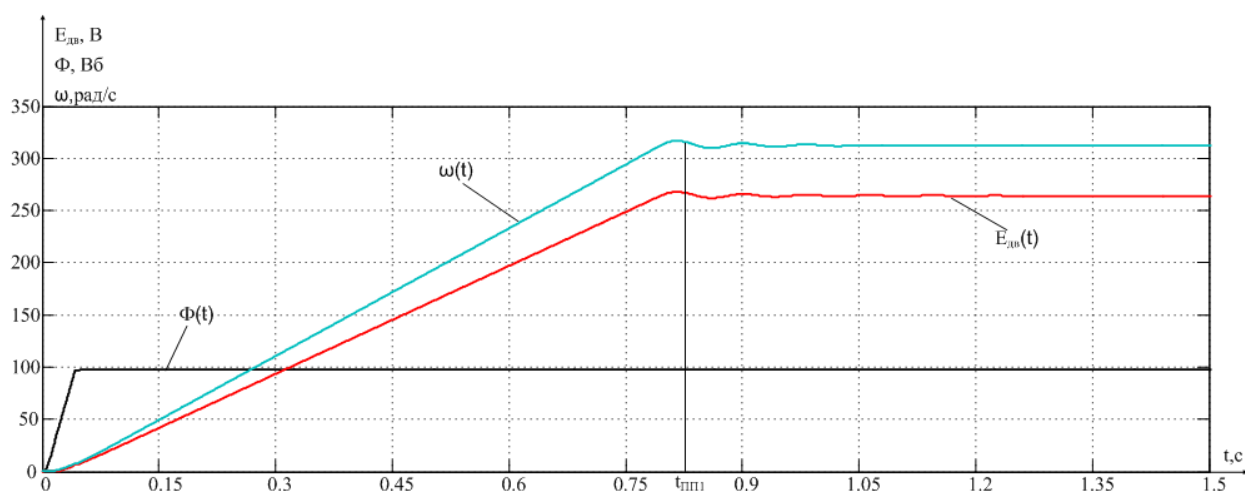


Рисунок 10 – Динамические характеристики электропривода при разгоне до номинальной скорости с использованием комбинаций регуляторов под номерами 5, 8, 9, 13.

При использовании комбинаций под номерами 10, 14, 15 графики переходных процессов имеют одинаковый вид.

На рисунке 13 представлена динамическая характеристика двухзонного электропривода постоянного тока, при его разгоне до максимальной скорости, с использованием данных комбинаций регуляторов.

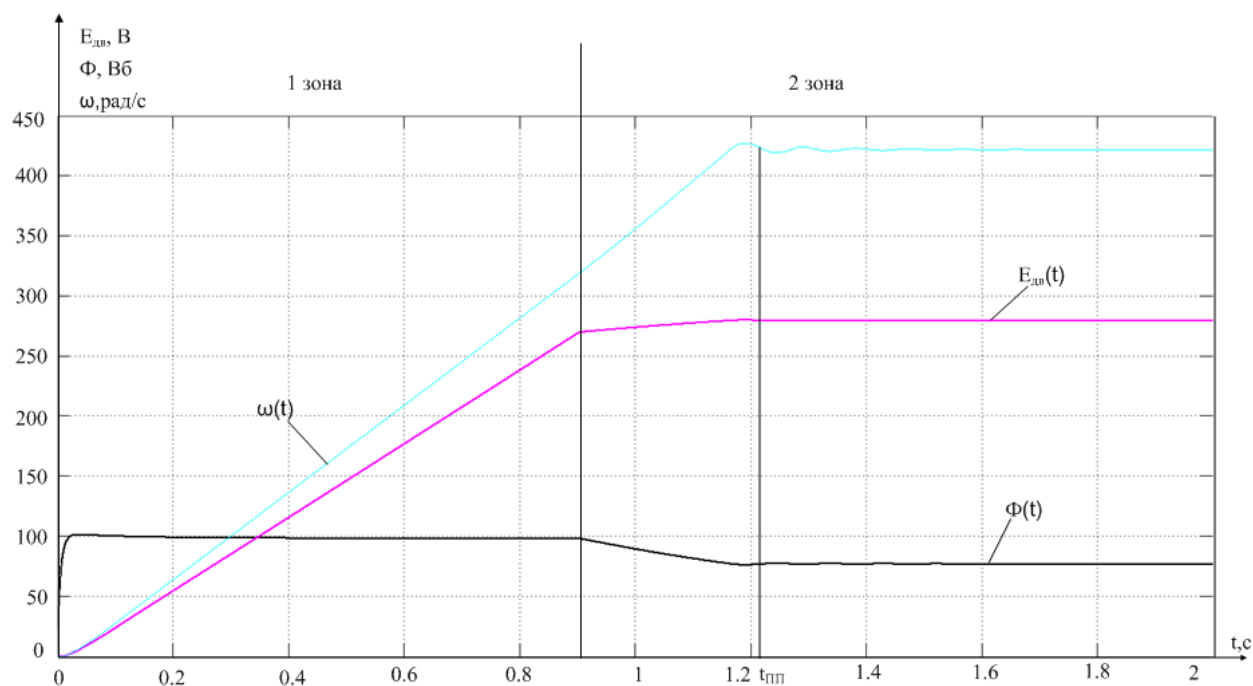


Рисунок 13 – Динамические характеристики электропривода при разгоне до максимальной скорости с использованием комбинаций регуляторов под номерами 10, 14, 15.

На рисунке 14 представлена динамические характеристики двухзонного электропривода постоянного тока, при его разгоне до номинальной скорости, с использованием комбинаций регуляторов под номерами 10, 14, 15.

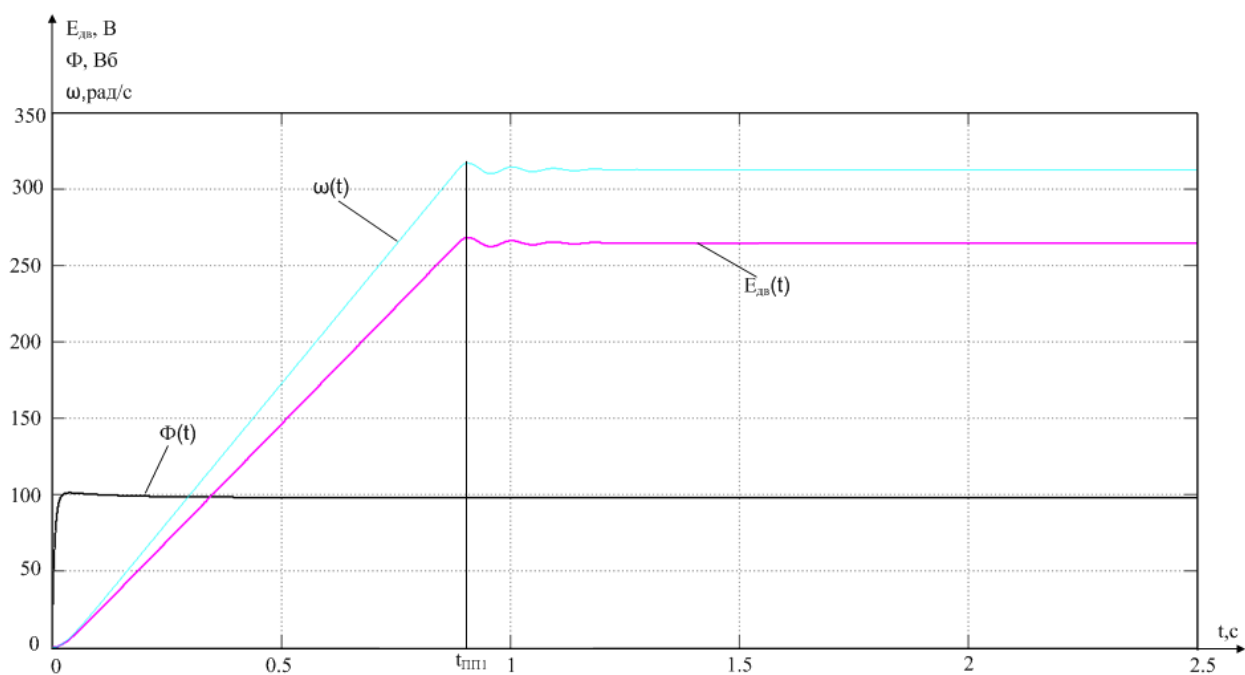


Рисунок 14 – Динамические характеристики электропривода при разгоне до номинальной скорости с использованием комбинаций регуляторов под номерами 10, 14, 15.

На рисунке 15 представлена динамическая характеристика двухзонного электропривода постоянного тока, при его разгоне до максимальной скорости, с использованием комбинации регуляторов под номером 12.

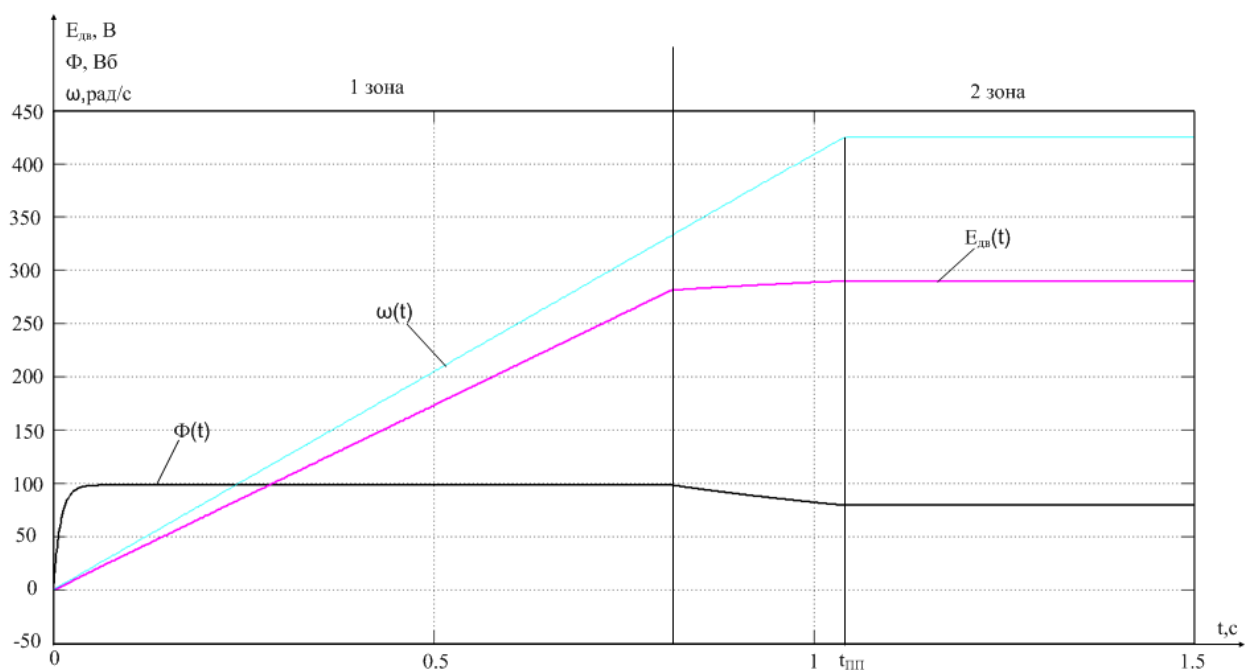


Рисунок 15 – динамические характеристики электропривода при разгоне до максимальной скорости с использованием комбинации регуляторов под номером 12.

На рисунке 16 представлена динамические характеристики двухзонного электропривода постоянного тока, при его разгоне до номинальной скорости, с использованием комбинации регуляторов под номером 12.

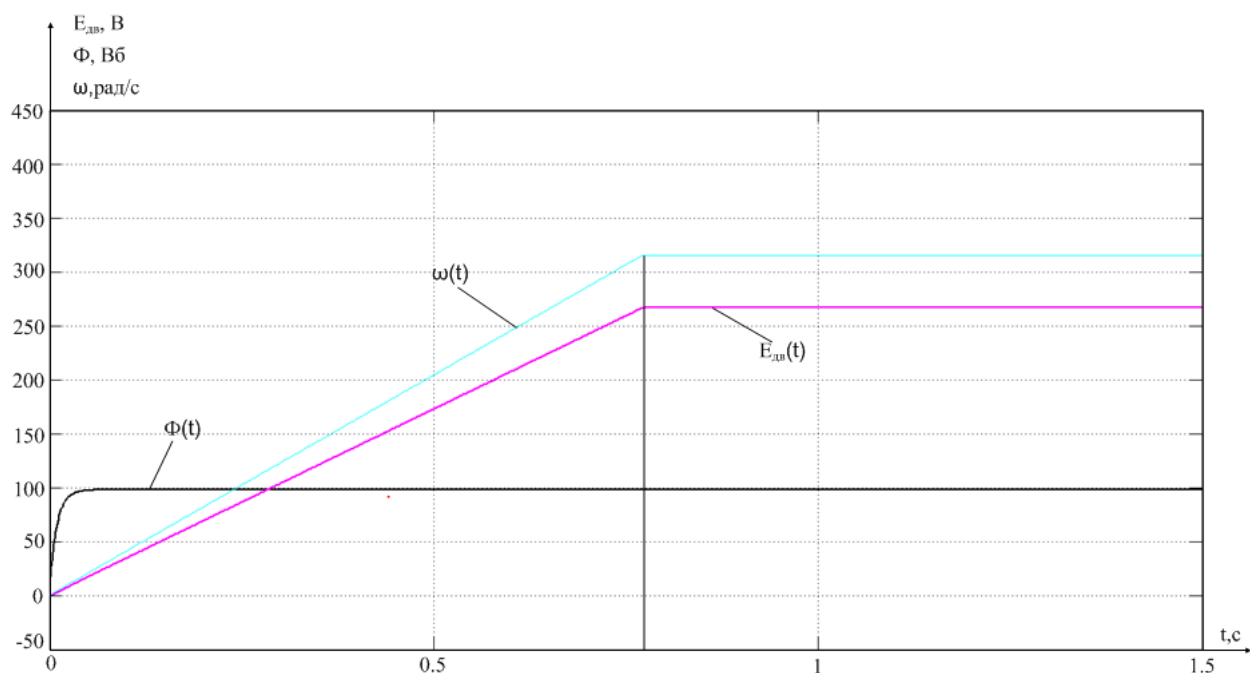


Рисунок 16 – Динамические характеристики электропривода при разгоне до номинальной скорости с использованием комбинации регуляторов под номером 12.

Результаты параметров переходных процессов сведены в таблице 9.

Таблица 9.

№ комбинации	Время переходного процесса до максимальной скорости	Время переходного процесса до номинальной скорости
	$t_{пп}, c$	$t_{пп1}, c$
1	1,72	1,51
2	1,72	1,51
3	1,72	1,51
4	1,72	1,51
5	1,052	0,825
6	1,72	1,51
7	1,72	1,51
8	1,052	0,825
9	1,052	0,825
10	1,21	0,91
11	1,72	1,51
12	1,05	0,78
13	1,052	0,825
14	1,21	0,91
15	1,21	0,91
16	1,21	0,91

В первой зоне обеспечивается диапазон скоростей от 0 до ω_n и регулирование в этой зоне производится за счёт изменения напряжения на якоре двигателя, значение тока возбуждения остается постоянным, равным номинальному и, следовательно, поток, создаваемый обмоткой возбуждения, также остается постоянным и равным номинальному. Во второй зоне обеспечивается диапазон скоростей до ω_{max} , что происходит за счёт ослабления потока возбуждения до значения, соответствующего установившемуся значению скорости, равно как и поток (пропорциональность определяется значением K_Φ).

Из графиков видно, что наилучшие параметры переходного процесса двухзонный электропривод постоянного тока имеет при ПИ-регуляторе тока якоря, ПИ-регуляторе скорости с фильтром, ПИ-регуляторе ЭДС и ПИ-регуляторе тока возбуждения.

7. Исследование динамических характеристик двухзонного электропривода постоянного тока при различных структурах регуляторов с учетом кривой намагничивания двигателя

Кривая намагничивания показывает в графическом виде зависимость магнитного потока от тока возбуждения (намагничивающего тока).

Кривая намагничивания имеет вид показанный на рисунке 17.

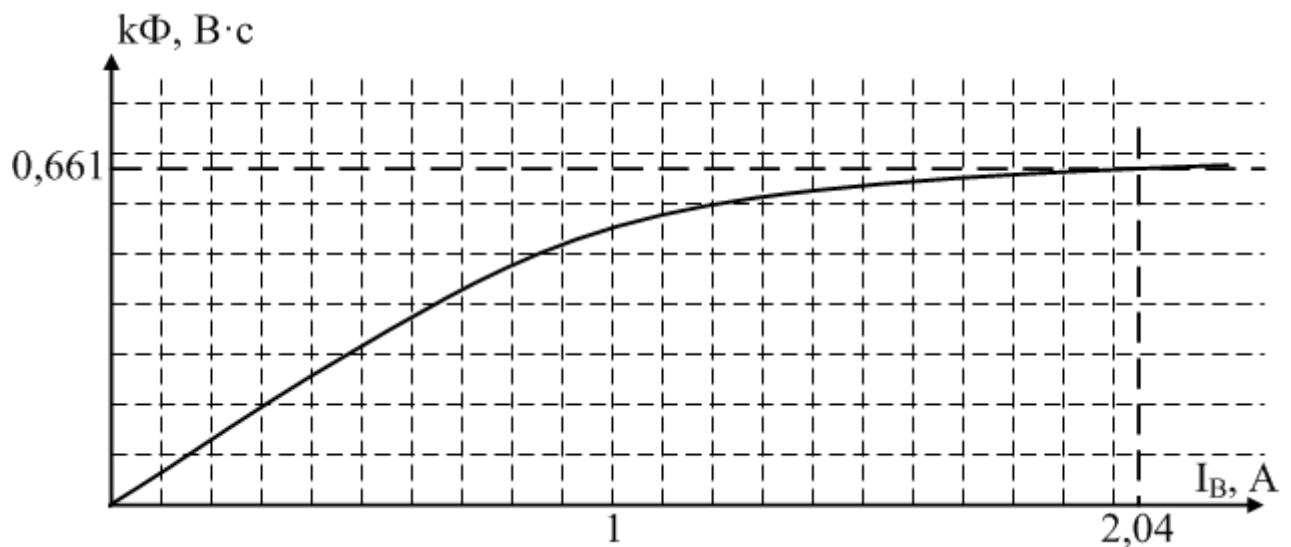


Рисунок 17 – Кривая намагничивания двигателя.

Принимаем $k\Phi_n = K_{эм} = 0,661 \text{ В} \cdot \text{с}$.

Для построения динамических характеристик $\omega = f(t)$, $E_{дв} = f(t)$ и $\Phi = f(t)$ при пуске воспользуемся программой MATLAB (Simulink) и составим имитационную модель двухзонного электропривода постоянного тока, которая выглядит аналогично модели при снятии динамических характеристик двухзонного электропривода постоянного тока при различных структурах регуляторов, только заменяем блок учитывающий линеаризацию кривой намагничивания, на блок “Lookup Table” в который вносим зависимость из кривой намагничивания, схема имитационной модели приведена на рисунке 18.

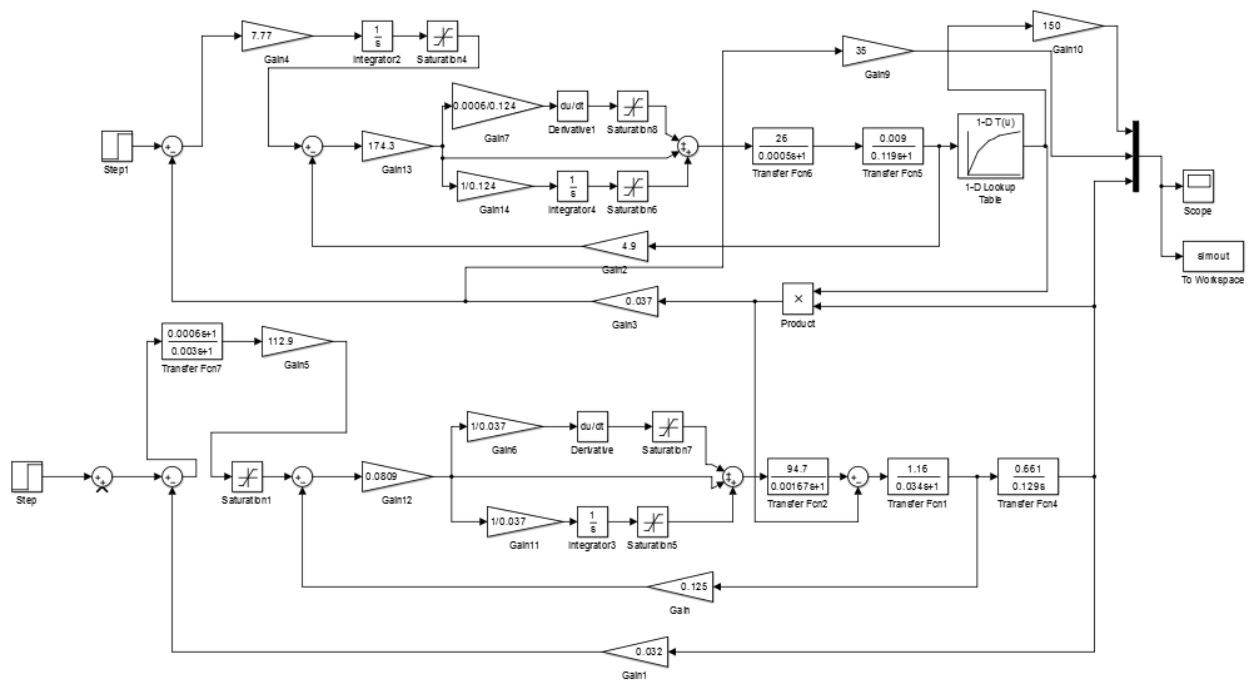


Рисунок 18 - Имитационная модель двухзонного электропривода постоянного тока с учетом кривой намагничивания двигателя.

Ниже представлены графики переходных процессов при различных структурах регуляторов с учетом кривой намагничивания двигателя.

При комбинациях под номерами 1,3,4,7 графики переходных процессов имеют одинаковый вид.

На рисунке 19 представлены динамические характеристики двухзонного электропривода постоянного тока, с учетом кривой намагничивания двигателя при его разгоне до максимальной скорости, с использованием комбинаций регуляторов при данных комбинациях.

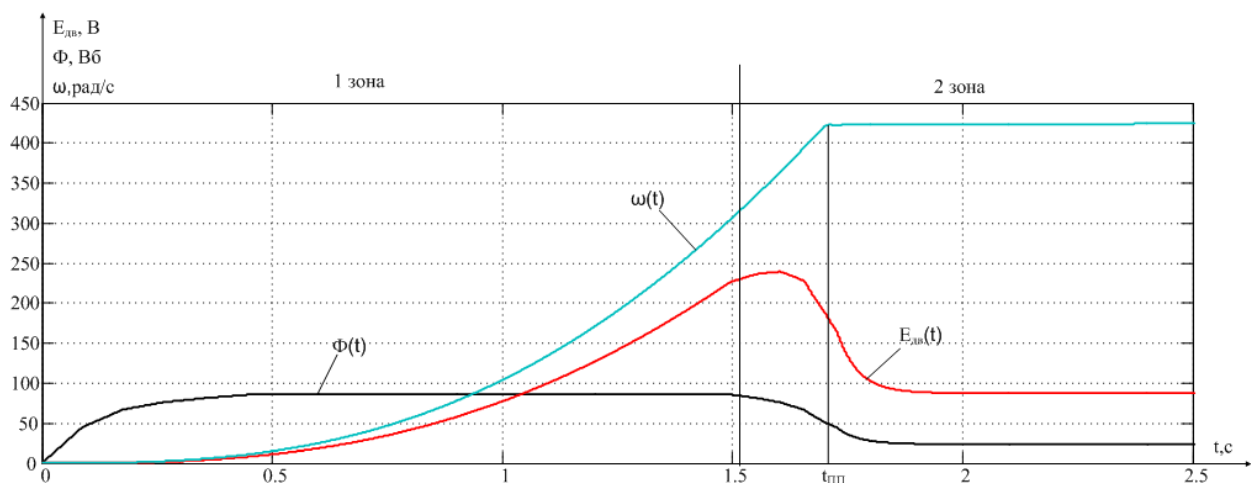


Рисунок 19 – Динамические характеристики электропривода с учетом кривой намагничивания двигателя при разгоне до максимальной скорости с использованием комбинаций регуляторов под номерами 1,3,4,7.

На рисунке 20 представлена динамические характеристики двухзонного электропривода постоянного тока, с учетом кривой намагничивания двигателя при его разгоне до номинальной скорости, с использованием комбинаций регуляторов под номерами 1,3,4,7.

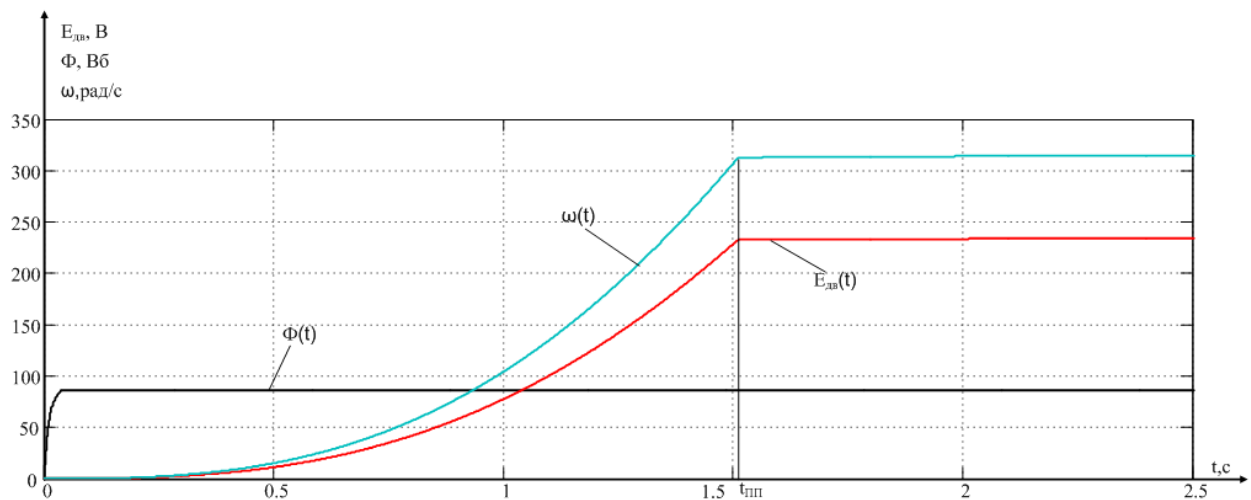


Рисунок 20 – Динамические характеристики электропривода с учетом кривой намагничивания двигателя при разгоне до номинальной скорости с использованием комбинации регуляторов под номерами 1,3,4,7.

При комбинациях под номерами 5, 8, 9, 13 графики переходных процессов имеют одинаковый вид.

На рисунке 21 представлена динамические характеристики двухзонного электропривода постоянного тока, при его разгоне до максимальной скорости, с использованием данных комбинаций регуляторов.

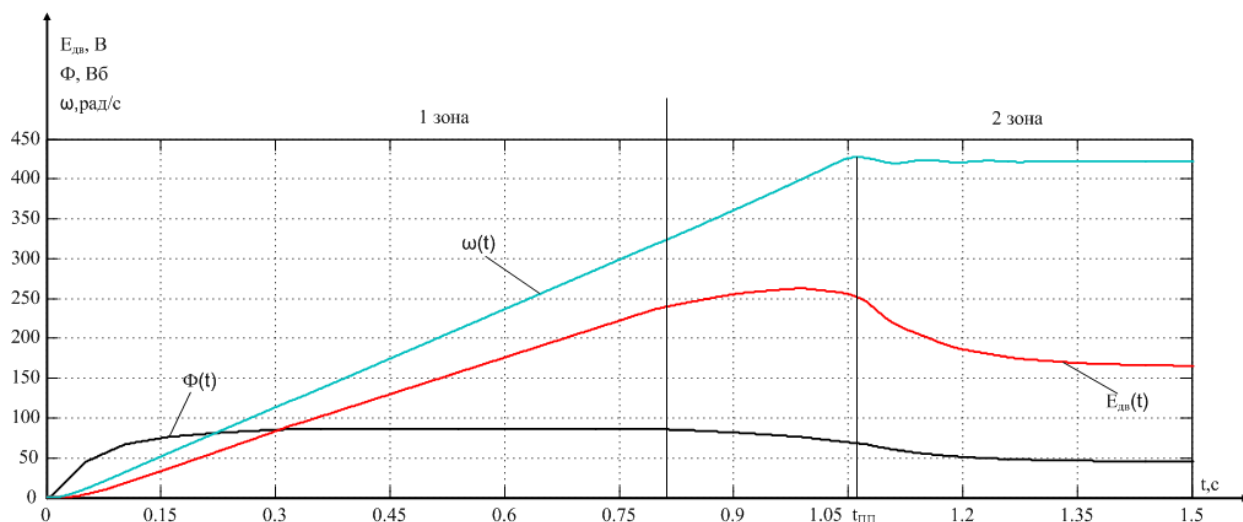


Рисунок 21 – Динамические характеристики электропривода с учетом кривой намагничивания двигателя при разгоне до максимальной скорости с использованием комбинации регуляторов под номерами 5, 8, 9, 13.

Динамические характеристики двухзонного электропривода постоянного тока, с учетом кривой намагничивания двигателя при его разгоне до номинальной скорости, с использованием комбинаций регуляторов под номерами 5, 8, 9, 13 имеют такой же вид, как и динамические характеристики при учете линеаризации кривой намагничивания.

При комбинациях под номерами 2, 6, 10, 11, 14, 15, 16 графики переходных процессов двухзонного электропривода постоянного тока, с учетом кривой намагничивания двигателя при его разгоне до максимальной скорости и разгоне до номинальной скорости имеют такой же вид, как и графики переходных процессов при учете линеаризации кривой намагничивания, соответственно.

Параметры переходных процессов с учетом кривой намагничивания при различных комбинациях регуляторов, идентичны параметрам переходных процессов при учете линеаризации кривой намагничивания.

При моделировании переходных процессов с учетом кривой намагничивания, предпочтительней также является комбинация ПИ-регулятор тока якоря, ПИ-регулятор скорости с фильтром, ПИ-регулятор тока возбуждения и ПИ-регулятор ЭДС, при данной комбинации регуляторов электропривод имеет наилучшие параметры переходных процессов.

График переходного процесса скорости при учете кривой намагничивания не имеют отличий от графика переходного процесса скорости при учете линеаризации кривой намагничивания, из этого можно сделать вывод что при моделировании двухзонного электропривода постоянного тока можно использовать линеаризацию кривой намагничивания.

8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.[9]

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

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

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;

- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

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

8.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

8.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

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

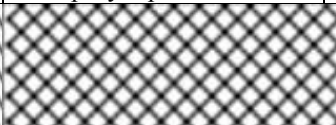
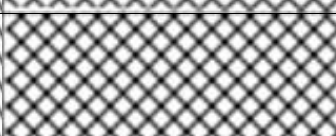
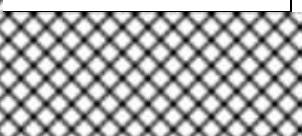
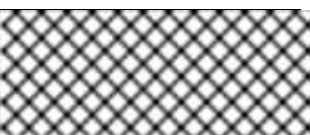
В данном случае сегментирования целесообразно провести по критерию точности, т.к. как для разных типов режимов работы, требуется разная величина подачи угля в установки соответствующей мощности.

А также следует выделить сегменты рынка:

- по разработке, проектированию и производству;
- по установке и пуско-наладке;
- по дальнейшему обслуживанию и ремонту.

Исходя из сегмента рынка, будет произведено сегментирование коммерческих организаций по отраслям. Сегментирование приведено в таблице 10.

Таблица 10

	Не регулируемые электропривода постоянного тока	Электропривода постоянного тока с однозонным регулированием	Электропривода постоянного тока с двухзонным регулированием
Проектирование и производство			
Установка и пуско-наладка			
Обслуживание и ремонт			
Фирма А		Фирма Б	

Результаты сегментирования:

- Основными сегментами рынка являются все виды деятельности для электроприводов постоянного тока;
- Наиболее сильно предприятие должно быть ориентировано на сегменты рынка связанные с проектированием и производством, установкой и пуско-наладкой двухзонных электроприводов постоянного тока;
- Наиболее привлекательными сегментами рынка являются отрасли, связанные с проектированием и производством, установкой и пуско-наладкой двухзонных электроприводов постоянного тока.

8.1.2 Технология QuaD.

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

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

1) Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:

- влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
- перспективность рынка;
- пригодность для продажи;
- перспективы конструирования и производства;
- финансовая эффективность.
- правовая защищенность и др.

2) Показатели оценки качества разработки:

- динамический диапазон;
- вес;
- ремонтпригодность;
- энергоэффективность;
- долговечность;
- эргономичность;
- унифицированность;
- уровень материалоемкости разработки и др.

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

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценка проводится в табличной форме (таблица 2).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок) приведена в таблице 11.

Таблица 11

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)x100
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,07	65	100	0,65	4,55
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,13	75	100	0,75	9,75
3. Помехоустойчивость	0,03	50	100	0,5	1,5
4. Энергоэкономичность	0,1	70	100	0,7	7
5. Надежность	0,09	100	100	1	9
6. Уровень шума	0,04	40	100	0,4	1,6
7. Безопасность	0,01	80	100	0,8	2,4
8. Потребность в ресурсах памяти	0,02	75	100	0,75	1,5
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	85	100	0,85	3,4
10. Простота эксплуатации	0,04	98	100	0,98	3,92
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	96	100	0,96	4,8
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,06	100	100	1	6
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
1. Конкурентоспособность продукта	0,03	70	100	0,7	2,1
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	80	100	0,8	3,2
3. Цена	0,06	45	100	0,45	2,7
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	100	100	1	8
5. Послепродажное обслуживание	0,03	90	100	0,9	2,7
6. Финансирование научной разработки	0,05	78	100	0,78	3,9
7. Срок выхода на рынок	0,03	71	100	0,71	2,13
8. Наличие сертификации разработки	0,02	78	100	0,78	3,2
Итого	1				83,35

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot E_i = 0,07 \cdot 65 + 0,13 \cdot 75 + \dots + 0,02 \cdot 78 = 83,35,$$

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

B_i – вес показателя (в долях единицы);

E_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя P_{cp} получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 59 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Значение P_{cp} получилось равным 83,35, что говорит о том, что данная разработка является перспективной.

8.1.3 SWOT-анализ.

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

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим трактовку каждому из этих понятий.

1. **Сильные стороны.** Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное

преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей. При этом важно рассматривать сильные стороны и с точки зрения руководства проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован. При этом рекомендуется задавать следующие вопросы:

- Какие технические преимущества вы имеете по сравнению с конкурентами?
- Что участники вашего проекта умеют делать лучше всех?
- Насколько ваш проект близок к завершению по сравнению с конкурентами?

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

- Что можно улучшить?
- Что делается плохо?
- Чего следует избегать?

3. **Возможности.** Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию. Формулирование возможностей проекта можно упростить, ответив на следующие вопросы:

- Какие возможности вы видите на рынке? Проводите поиск свободных ниш, но помните, что свободными они остаются недолго.

Благоприятная возможность, увиденная сегодня, может перестать существовать уже через три месяца. Благоприятные возможности могут возникать в силу действия следующих факторов:

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

- В чем состоят благоприятные рыночные возможности?
- Какие интересные тенденции отмечены?
- Какие потребности, пожелания имеются у покупателя, но не удовлетворяются конкурентами?

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

- Какие вы видите тенденции, которые могут уничтожить ваш научно-исследовательский проект или сделать его результаты устаревшими?
- Что делают конкуренты?
- Какие препятствия стоят перед вашим проектом (например, изменения в законодательстве, снижение бюджетного финансирования проекта, задержка финансирования проекта и т.п.)?

- Изменяются ли требуемые спецификации или стандарты на результаты научного исследования?
- Угрожает ли изменение технологии положению вашего проекта?
- Имеются ли у руководства проекта проблемы с материально-техническим обеспечением?

Результаты первого этапа SWOT-анализа представляем в табличной форме, таблица 12.

Таблица 12

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1.Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2.Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4.Повышение производительности труда. С5.Высокий срок эксплуатации. С6.Надежность данной системы по сравнению с другими. С7.Возможность автоматизированного управления. С8.Высокое качество продукции.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1.Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца Сл2. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемые при проведении научного исследования Сл3.Отсутствие возможности проверки теоретических данных.
Возможности: В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследований		

В4. Повышение стоимости конкурентных разработок В5. Развитие технологий в данной отрасли		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства. У5. Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос.		

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

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

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

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора.

Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Полученная интерактивная матрицы проекта представлена в табл. 13.

Таблица 13

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

Результаты анализа таблицы:

B2B3B4C1C3C6C7

B1C2C5C7C8

B4C1C3C4C5C6C7C8

B5C1C3C4C5C6C7C8

Продолжение таблицы 13

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	-	-
	B2	-	-	-
	B3	-	-	-
	B4	-	+	0
	B5	+	-	+

Результаты анализа таблицы:

B4Сл2

B5Сл1Сл3

Продолжение таблицы 13

Сильные стороны проекта									
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	У1	-	-	-	-	+	-	-	-
	У2	0	0	-	+	-	-	-	-
	У3	+	0	+	+	-	+	0	0
	У4	-	-	-	0	-	-	-	-
	У5	0	-	-	-	+	-	-	-

Результаты анализа таблицы:

У1С5

У2С8

У3С1С3С4С6

У5С5

Окончание таблицы 13

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	0
	У2	-	0	+
	У3	0	+	+
	У4	+	-	+
	У5	+	0	+

Результаты анализа таблицы:

У1Сл1 Сл2

У2Сл3

У3Сл2Сл3

У4У5Сл1Сл3

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа, которая приведена в таблице 14.

Таблица 14.

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца
--	--	---

Продолжение таблицы 14.

	С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4.Повышение производительности труда. С5.Высокий срок эксплуатации. С6.Надежность данной системы по сравнению с другими. С7.Возможность автоматизированного управления. С8.Высокое качество продукции.	Сл2. Большой срок поставок материалов и комплектующий, используемые при проведении научного исследования Сл3.Отсутствие возможности проверки теоретических данных.
Возможности: В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследований В4. Повышение стоимости конкурентных разработок В5. Развитие технологий в данной отрасли	В2В3В4С1С3С6С7 В1С2С5С7С8 В4С1С3С4С5С6С7С8 В5С1С3С4С5С6С7С8	В4Сл2 В5Сл1Сл3
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства. У5.Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос.	У1С5 У2С8 У3С1С3С4С6 У5С5	У1Сл1 Сл2 У2Сл3 У3Сл2Сл3 У4У5Сл1Сл3

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

8.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.

В предыдущем разделе были описаны методы, которые позволяют выявить и предложить возможные альтернативы проведения исследования и доработки результатов. К их числу относятся технология QuaD, оценка конкурентных инженерных решений, SWOT-анализ. К ним можно добавить ФСА-анализ, метод Кано. Однако, в большей степени все приведенные методы ориентированы на совершенствование результатов научного исследования, находящегося на стадии создания макета, модели системы, прототипа, конечного продукта. Если разработка находится на перечисленных стадиях жизненного цикла нового продукта, можно предложить не менее трех основных вариантов совершенствования разработки или основных направлений научного исследования.

Разработка относится к вышеописанным стадиям, поэтому нет необходимости использовать морфологический подход.

8.3 Планирование научно-исследовательских работ.

8.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры,

техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 15.

Таблица 15.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель
	3	Выбор направления исследований	Научный руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер совместно с лаборантом
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Оформление отчета по НИР	9	Составление пояснительной записки	Инженер
	10	Публикация полученных результатов	Инженер

8.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ.

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

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где $t_{ожі}$ – 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.

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

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где T_{p_i} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

В таблице 15 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работы.

8.3.3 Разработка графика проведения научного исследования.

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

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

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

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

где, T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22 ,$$

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

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

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

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

Временные показатели проведения научного исследования приведены в таблице 15.

Таблица 15

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители			Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{ож\ i}$, чел-дни											
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление и утверждение технического задания	1	5	2	2	8	4	1,4	6,2	2,8	1	2	1	1,4	3,1	2,8	1,7	3,8	3,4
Подбор и изучение материалов по теме	1	5	3	2	8	4	1,4	6,2	3,4	1	2	1	1,4	3,1	3,4	1,7	3,8	4,1
Выбор направления исследований	1	4	1	3	8	3	1,8	5,6	1,8	1	2	1	1,8	2,8	1,8	2,2	3,4	2,2
Календарное планирование работ по теме	1	1	2	2	2	5	1,4	1,4	3,2	1	1	1	1,4	1,4	3,2	1,7	1,7	3,9
Проведение теоретических расчетов и обоснований	4	10	4	8	14	8	5,6	11,6	5,6	1	2	1	5,6	5,8	5,6	6,8	7,1	6,8
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	28	28	7	40	40	8	32,8	32,8	7,4	2	2	2	16,4	16,4	3,7	20	20	4,5
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	5	10	5	7	20	7	5,8	14	5,8	1	2	1	5,8	7	5,8	7,1	8,5	7,1
Оценка эффективности полученных результатов	2	8	2	3	11	3	2,4	9,2	2,4	1	2	1	2,4	4,6	2,4	2,9	5,6	2,9
Составление пояснительной записки	4	7	4	7	14	7	5,2	9,8	5,2	1	1	1	5,2	9,8	5,2	6,3	11,9	6,3
Публикация полученных результатов	1	1	1	7	7	7	3,4	3,4	3,4	1	1	1	3,4	3,4	3,4	4,1	4,1	4,1

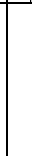
Итого длительность работ в календарных днях при использовании

- Первого варианта- 54,5 календарных дней.
- Второго варианта- 69,9 календарных дней.
- Третьего варианта- 45,3 календарных дней.

На основе таблицы 15 строим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта, с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени написания ВКР. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Календарный план-график построенный для максимального по длительности второго варианта исполнения работ рамках научно-исследовательского проекта приведен в таблице 16.

Таблица 16.

№ рабо т	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель и инженер	3,8														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель и лаборант	3,8														
3	Выбор направления исследований	Научный руководитель и инженер	3,4														
4	Календарное планирование работ по теме	Лаборант	1,7														
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер и лаборант	7,1														
6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер и лаборант	20														
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическим и данными	Инженер и научный руководитель	8,5														

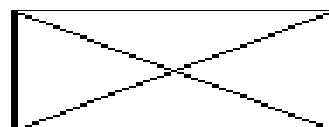
Продолжение таблицы 16.

[illegible]

Научный руководитель



Инженер



Лаборант

8.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).

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

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

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

8.3.4.1 Основная заработная плата исполнителей темы.

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 17.

Таблица 17.

№ п/п	Наименование этапов			Исполнители по категориям			Трудо-емкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Составление и утверждение технического задания			Научный руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель	1,4	6,2	2,8	2308,91	2308,91	2308,91	3232,47	14315,24	6464,94
					Инженер	Инженер					1848,18			11458,71	
2	Подбор и изучение материалов по теме			Научный руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель	1,4	6,2	3,4	2308,91	2308,91	2308,91	3232,47	14315,24	7850,29
					Лаборант	Лаборант					1206,56			7480,67	
3	Выбор направления исследований			Научный руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель	1,8	5,6	1,8	2308,91	2308,91	2308,91	4156,03	12929,89	4156,03
					Инженер	Инженер					1848,18			10349,80	
4	Календарное планирование работ по теме			Лаборант	Лаборант	Лаборант	1,4	1,4	3,2	1206,56	1206,56	1206,56	1689,18	1689,18	3860,99
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований			Инженер	Инженер	Инженер	5,6	11,6	5,6	1848,18	1848,18	1848,18	10349,80	21438,88	10349,80
					Лаборант	Лаборант					1206,56			13996,09	
6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов			Инженер	Инженер	Инженер	32,8	32,8	7,4	1848,18	1848,18	1848,18	60620,30	60620,30	13676,53
				Лаборант	Лаборант	Лаборант				1206,56	1206,56	1206,56	39575,16	39575,16	8928,54

Продолжение таблицы 17.

7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Инженер	Научный руководитель	Инженер	5,8	14	5,8	1848,18	2308,91	1848,18	10719,44	32324,74	10719,44
			Инженер						1848,18			25874,52	
8	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер	Научный руководитель	Инженер	2,4	9,2	2,4	1848,18	2308,91	1848,18	4435,63	21241,972	4435,632
			Инженер						1848,18			17003,256	
9	Составление пояснительной записки	Инженер	Инженер	Инженер	5,2	9,8	5,2	1848,18	1848,18	1848,18	9610,53	18112,16	9610,53
10	Публикация полученных результатов	Инженер	Инженер	Инженер	3,4	3,4	3,4	1848,18	1848,18	1848,18	6283,81	6283,81	6283,81
Итого:											153904,9	322725,86	86336,58

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

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

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

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot М}{F_{д}},$$

где, $З_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$М$ – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчет баланса рабочего времени приведен в таблице 18.

Таблица 18.

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер	Лаборант
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней			
- выходные дни	52	52	52
- праздничные дни	14	14	14

Продолжение таблицы 18.

Потери рабочего времени			
- отпуск	56	56	28
- невыходы по болезни	14	17	20
Действительный годовой фонд рабочего времени	229	226	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_o) \cdot k_p,$$

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

k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{TC});

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от Z_{TC});

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата Z_{TC} находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{ci} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_T и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 19.

Таблица 19.

Исполнители	Z_{TC} , руб.	k_{np}	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	27500	0,3	0,15	1,3	51838	2308,91921	229	528742,5
Инженер	17500	0,3	0,5	1,3	40950	1848,18584	226	417690
Лаборант	13000	0,3	0,3	1,3	27040	1206,56574	251	302848
Итого								1249281

8.3.4.2 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{дон} = k_{дон} \cdot З_{осн} = 0,12 \cdot 1249281 = 149913,72 \text{ руб.},$$

где, $k_{дон}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 20.

8.3.4.3 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:

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

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

На 2015 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 20.

Таблица 20.

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Научный руководитель	10620,97	95127,08	18471,26	1274,51	11415,25	2216,55
Инженер	102019,5	171141,4	12789,53	12242,34	20536,97	1534,74
Лаборант	41264,34	62741,1	55075,75	4951,72	7528,93	6609,09
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	46713,18					
Исполнение 2	99860,98					
Исполнение 3	26204,86					

8.3.4.4 Накладные расходы.

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

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}} = (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{внеб}}) \cdot 0,16,$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Расчет величины накладных расходов приведен в таблице 21.

Таблица 21.

	$З_{\text{накл}}$, руб.
Исполнение 1	37446,18
Исполнение 2	77123,19
Исполнение 3	19894,69

8.3.4.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 22.

Таблица 22.

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	153904,9	322726	86336,58	Пункт 3.4.1
2. Отчисления во внебюджетные фонды	46713,18	99861	26204,86	Пункт 3.4.3
3. Накладные расходы	37446,184	77123,2	19894,69	16 % от суммы ст. 1-5
4. Бюджет затрат НТИ	256532,8	539191,4	142796,51	Сумма ст. 1- 6

8.4 Определение ресурсоэффективности проекта.

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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

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

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

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля). Расчёт интегрального финансового показателя приведен в таблице 23.

Таблица 23.

	$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i}$
Исполнение 1	0,48
Исполнение 2	1
Исполнение 3	0,26

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

Определение ресурсоэффективности проекта схемы 3 можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где, I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности схем проводим в виде табличной формы. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта приведена в таблице 24.

Таблица 24.

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Повышение производительности труда пользователя	0,05	3	3	5
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	4	5
Надежность	0,05	4	5	5
Безопасность	0,1	3	3	5
Простота эксплуатации	0,1	5	3	5
Конкурентоспособность продукта	0,1	5	5	5
Уровень проникновения на рынок	0,2	5	3	4
Финансирование научной разработки	0,1	5	4	3
Наличие сертификации разработки	0,2	5	3	5
ИТОГО	1			

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы 25.

Таблица 25.

	I_{pi}
Исполнение 1	4,55
Исполнение 2	3,5
Исполнение 3	4,6

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта.

Таким образом, применение электроприводов переменного тока и сейчас остается эффективным.

В ходе выполнения данной части выпускной работы была доказана конкурентоспособность данного технического решения в сравнении с другими перспективами, был произведен SWOT-анализ, планирование, которое ограничило выполнение работы в 111 дней. Также был посчитан бюджет НИИ, основная часть которого приходится на зарплаты сотрудников.

9. Социальная ответственность

В данном разделе рассматриваются безопасность и экологичность лаборатории по исследованию и проверке двухзонного электропривода постоянного тока. Здесь будет рассмотрено необходимое обеспечение условий труда в лаборатории (санитарно-гигиенические условия, защита от негативных производственных факторов, обеспечение пожарной безопасности) в соответствии с действующими нормативными документами, а также вопросы экологической безопасности.

Безопасность включает в себя влияние опасных и вредных факторов, их анализ и меры их профилактики.

9.1 Производственная безопасность.

9.1.1 Описание технологического процесса и рабочего места.

Технологический процесс исследования и проверки двухзонного электропривода постоянного тока заключается в следующем:

1. Ознакомление и анализ литературы (статьи, диссертации, учебные пособия и монографии) по данной тематике;
2. Исследование работы системы двухзонного электропривода постоянного в лаборатории;
3. Выбор необходимого оборудования;
4. Расчет регуляторов;
5. Создание модели электропривода и анализ его работы;
6. Лабораторное апробирование регуляторов на математической модели двигателя постоянного тока с независимым возбуждением;
7. Анализ полученных результатов

В описанном технологическом процессе основным оборудованием является:

- монитор;
- компьютер;

- источник напряжения, необходимый для работы оборудования;
- исследуемый двигатель постоянного тока ;
- шкаф диагностики и управления;

9.1.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.

Проведем анализ опасных производственных факторов в вышеописанном технологическом процессе исследования и проверки двухзонного электропривода постоянного.

Основным опасным фактором является возможность поражения человека электрическим током, так как работа производится с рабочими электрическими установками, в частности двигателями. Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [10-14].

Следующая опасность заключается в том, что работа проводится с рабочим двигателем, соответственно вал двигателя находится в движении, что может привести к механическим повреждениям частей тела человека. Однако, благодаря конструкции двигателей, опасность представляют лишь выходные концы валов и места соединений. Для снижения риска устанавливают кожухи или защитные экраны в местах открытых движущихся механических частей.

Опасность может представлять повышенный уровень вибрации, который возникает во время работы исследуемого двигателя при нагрузках выше номинальной. Для избегания влияния вибраций на человека необходимо провести мероприятия на основании [15], а именно, жесткая фиксация рабочих механизмов на своих местах с использованием виброгасящих материалов.

9.1.3 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.

Часть технологического процесса исследования и проверки двухзонного электропривода постоянного тока, а именно п.2, представленные в разделе 9.1.1 основана на работе с двигателем, который в свою очередь являются источником повышенного уровня шума, что является вредным фактором производственной среды [16]. Чтобы уменьшить влияние шума, можно применять различные меры такие как: замена подшипников качения на подшипники-скольжения, проверка и своевременная замена смазочных материалов у подшипников. Но такие меры слишком затратные и трудоемкие. Также имеются и другие способы решения данной проблемы. Можно использовать различные ограждения из звукопоглощающих материалов и отдельных частей установки для снижения уровня шума. Возможно также закрытие звукоизолирующими кожухами всей установки, но это может вызвать затруднения при работе с оборудованием.

Следующий вредный фактор – недостаток естественного света [10], при работе в условиях недостаточной освещённости, связанным с временем суток и погодными условиями.

Однако недостаток освещенности рабочей зоны и помещения в целом плохо сказывается на здоровье работника [10,17]. Для улучшения ситуации, необходимо установить светильники на основании следующего расчета:

Данные, необходимые для расчета искусственного освещения:

– длина помещения	$A_{\text{пом}} = 8 \text{ м};$
– ширина	$B_{\text{пом}} = 4 \text{ м};$
– высота	$H_{\text{пом}} = 3 \text{ м};$
– коэффициент отражения стен	$R_c = 30\%;$
– высота рабочей поверхности	$h_p = 0,75 \text{ м};$
– коэффициент отражения потолка	$R_n = 50\%;$
– коэффициент запаса	$k = 1,5;$
– коэффициент неравномерности	$Z = 1,1.$

Требуется создать освещенность $E = 300 \text{ Лк};$

Рассчитаем систему общего освещения (люминесцентного).

Выбором являются светильники типа ОД с интегральным критерием оптимальности расположения светильников $\lambda = 1,4$.

Расстояние светильников от перекрытия принимаем $h_c = 0,1$ м и получаем:

$$h = H - h_c - h_p = 3 - 0,1 - 0,75 = 2,15 \text{ м};$$

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,15 = 3,01 \text{ м};$$

$$\frac{L}{3} = \frac{3,01}{3} = 1 \text{ м};$$

Светильники размещаем в два ряда. В каждом из рядов будет установлено 5 светильников типа ОД. Мощность светильника 30 Вт, длина 0,9 м. Разрывы между светильниками, которых будет 4 в ряду, составят 27 см. План размещения светильников представлен на рисунке 21. В каждом светильнике установлено по две лампы, соответственно общее число ламп в помещении $n = 20$.

Найдем индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 4}{2,15 \cdot (8 + 4)} = 1,2$$

Тогда, коэффициент использования светового потока равен:

$$\eta = 0,43.$$

Рассчитаем световой поток:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot S \cdot k \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 32 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{20 \cdot 0,43} = 1841,8 \text{ Лм}$$

Определим потребный световой поток ламп в ряду. Для этого выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛДД 40 Вт со световым потоком 2100 Лм. Делаем проверку условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% = \frac{2100 - 1841,8}{2100} \cdot 100 \leq 20\%$$

Получаем

$$-10\% \leq 13,7\% \leq +20\% - \text{условие выполнено.}$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$P = 20 \cdot 30 = 600 \text{ Вт}$$

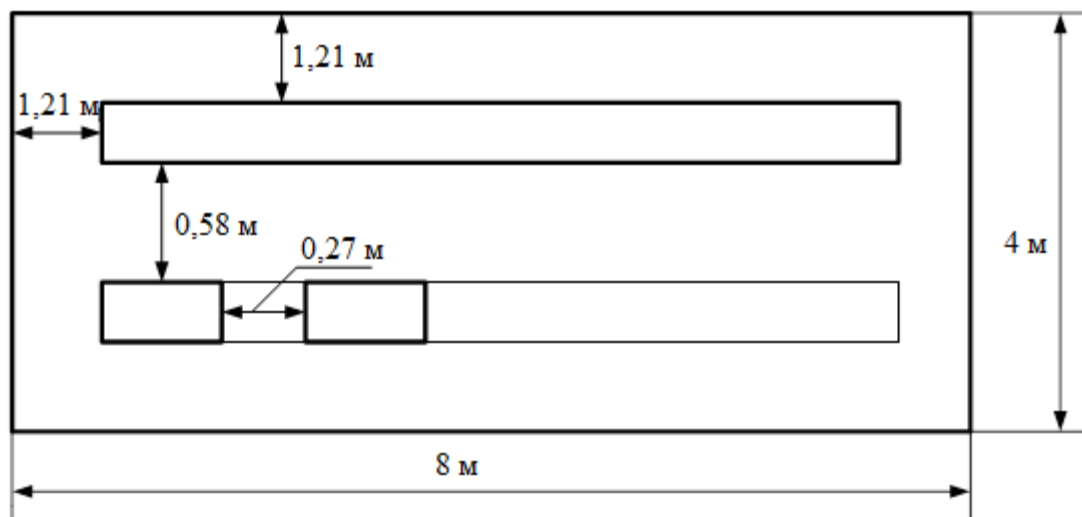


Рисунок 21 – План размещения светильников с люминесцентными лампами

Пониженная контрастность в взаимодействии с плохой освещенностью является наиболее опасным для зрительных органов работника и может привести к травмам, при работе с движущимися частями установки [10]. Простым решением для снижения риска является покраска отдельных частей установки в различные отчетливо видные цвета.

Другим вредным фактором является пониженная подвижность воздуха [18], связанная с плохой вентилируемостью лаборатории, в связи с отсутствием вентиляционной системой.

Следствием предыдущего вредного фактора и наличием теплоотдающих при работе элементов установки будет повышенная температура воздуха рабочей зоны [18], которая пагубно влияет на состояние человека. Для решения этой проблемы нужно установить вентиляционную систему и систему кондиционирования.

9.2 Экологическая безопасность.

Технологический процесс исследования и проверки системы двухзонного электропривода постоянного тока, а также её использование не представляет угрозы для окружающей среды. Это связано с тем, что процесс является безотходным, и в течении работы нет выделения опасных для экологического состояния элементов. Показатели выделяемого тепла, электромагнитных

излучений также не выше допустимых значений. Данная система может применяться на любых предприятиях, которые нуждаются в ней.

Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [22]. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки.

При разработке системы приточной вентиляции используется ПЭВМ. В ПЭВМ содержится множество компонентов, которые содержат токсичные вещества. Например:

1. Свинец (накапливается в организме, может поражать нервную систему и почки);
2. Никель и цинк (могут вызывать дерматит);
3. Щелочи (опасность для кожных покровов и слизистых);

Поэтому ПЭВМ требует особых способов утилизации:

1. Отделение неметаллических и металлических частей;
2. Неметаллические части должны быть подвержены специальной переработке
3. Металлические части должны быть переплавлены и использованы для последующего производства

Данные мероприятия позволяют обеспечить максимально эффективную утилизацию отходов и максимально уменьшить их неблагоприятное воздействие на окружающую среду.

9.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Наиболее вероятным чрезвычайными ситуациями при исследовании и проверке двухзонного электропривода постоянного тока являются пожар или

взрыв на рабочем месте [18,19,20]. Потенциальное возникновение пожара связано с возможным накоплением токоведущей пыли внутри компьютера, что может привести к короткому замыканию, возгоранию пыли и, если не будет принято никаких мер, распространению пожара. К воспламенению материалов может привести также наличие нагреваемых элементов в ходе работы установки. Достаточно следить за тем, чтобы вблизи установки во время её работы не находились легко воспламеняемые материалы и вещества.

В связи с возможной угрозой возникновения пожара был разработан план действий:

- в случае обнаружения возгорания необходимо сообщить руководителю и попытаться потушить очаг возгорания своими силами с помощью средств первичного пожаротушения такими как: огнетушитель (порошковый, углекислотный);

- в случае если потушить очаг возгорания не удастся, привести в действие ручной пожарный извещатель;

- немедленно сообщить о чрезвычайной ситуации в пожарную охрану по телефону 01 (сотовый 010), назвать адрес объекта, место и причины возникновения пожара;

- принять меры по эвакуации людей, материальных ценностей;

- приступить к тушению пожара, отключив электроэнергию;

- встретить подразделения пожарной охраны и, при необходимости, оказать помощь при выборе наилучшего пути для подхода к очагу пожара.

Возникновение других видов ЧС маловероятно, соответственно рассмотрению не подлежат.

9.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Согласно СанПиН[14] при размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности

одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора) должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Рабочие места с ПЭВМ при выполнении работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5 - 2,0 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 - 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5 - 0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

Заключение

В ходе выполнения данной бакалаврской работы, был разработан и исследован двухзонный электропривод постоянного тока.

Был произведен выбор двигателя, расчет параметров силовой цепи тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока, синтез структуры двухзонного электропривода постоянного тока.

Было произведено моделирование переходных процессов электропривода в программе MATLAB с применением различных структур регуляторов с учетом линеаризации кривой намагничивания, а также с учетом самой кривой намагничивания. Исходя из полученных динамических характеристик выбрана наилучшая комбинация регуляторов, ПИ-регулятор тока якоря, ПИ-регулятор скорости с фильтром, ПИ-регулятор тока возбуждения и ПИ-регулятор ЭДС, которая обеспечивает наименьшее время переходного процесса. Также на основании графиков переходных процессов можно сказать о том, что при моделировании динамических характеристик допускается использовать линеаризацию кривой намагничивания, так как динамическая характеристика скорости при учете кривой намагничивания не имеет отличий от динамической характеристики скорости при учете линеаризации кривой намагничивания.

Проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований, определена ресурсоэффективность проекта. Рассмотрена производственная безопасность, экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при исследовании двухзонного электропривода постоянного тока

Список литературы:

1. <http://refland.ru/15634-sistema-s-dvuhzonnyim-regulirovaniem-skorosti.html>
2. <http://www.dissercat.com/content/dvukhzonnyi-reversiruemyi-po-polyu-elektroprivod-glavnogo-dvizheniya-metallorazreshchikh-sta>
3. <http://www.ssau.ru/resources/ump/electro/elpr/>
4. Барановский Ю.В. Справочник «Режимы резания металлов» издание четвертое, переработанное и дополненное, Москва: Машиностроение, 2009. – с.363.
5. Локтев С.Е. Учебное пособие «Станки с программным управлением и промышленные роботы» Москва: Энергоиздат, 2011. – с.320.
6. Копылов И.П., Клоков Б. К. «Справочник по электротехническим машинам». 1 том Москва.: Энергоиздат, 1983. – с.456.
7. Л. С. Удут, О. П. Мальцева, Н. В. Кояин. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока: учебное пособие по курсовому проектированию. ТПУ. — Томск: Изд-во ТПИ, 1991. — с. 104.
8. Алехин А. Е., Ляпушкин С. В. Лабораторный практикум по курсу «Системы управления электроприводами». ТПУ. — Томск: Изд-во ТПУ, 2004. — с. 98.
9. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие. ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – с. 36.
10. ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
11. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
12. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. Обучение работающих безопасности труда
13. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Защитное заземление, зануление

14. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов
15. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования
16. СНиП П-12-77. Защита от шума
17. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий
18. СНиП 2.04. 05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование
19. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01. 07. 92
20. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования
21. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003
22. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 “Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств.”