

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Регулируемый электропривод насоса буровой установки

УДК62-83-523:622.242.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	ХасидовМаксим Рахминович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Клыжко Е.Н.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова А.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

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

Инженерная школа энергетики
 Отделение Электроэнергетики и электротехники
 Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)
 Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:
 И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ
 _____ А.С. Иващутенко
 (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
3-5Г4А1	Хасидову Максиму Рахминовичу

Тема работы:

Регулируемый электропривод насоса буровой установки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3483/с от 06.05.2019г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническое описание буровой установки БУ-2900/200 и техническая документация
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Введение, 2 Выбор и расчет параметров элементов силового канала электропривода насоса, 3 Оптимизация линеаризованной САУ электропривода насоса, 4 Исследование нелинейной САУ электропривода насоса, 5 Техничко-экономическое обоснование проекта, 6

	Безопасность и экологичность проекта, ⁷ Заключение
Перечень графического материала	Схема электрическая принципиальная; Схема электрическая функциональная; Схема электрическая структурная; Имитационная модель; Демонстрационный лист; Технико-экономические показатели;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Сотникова Анна Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2019г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н.		05.04.2019г.
Ассистент	Клыжко Е.Н.	к.т.н.		05.04.2019г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	ХасидовМаксим Рахминович		05.04.2019г.

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.05.2019	Основная часть	60
15.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
17.05.2019	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Клыжко Е.Н.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 113 с., 3брис., 1бтаблиц, 16 источника,
БУРОВАЯ УСТАНОВКА, НАСОС, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВУХЗОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА, ОПТИМИЗАЦИЯ, СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ.

Объектом исследования является электропривод насоса буровой установки БУ 2900/200 ЭПК-БМ, предназначенный для транспортировки разрушенной породы (шлама) на поверхность.

Цель работы - разработка и исследование двухзонного электропривода (ЭП) насоса буровой установки БУ 2900/200 ЭПК-БМ.

В работе выбраны элементы силовой цепи, определены оптимальные параметры настройки регуляторов системы, рассчитаны статические и динамические характеристики, определены качественные показатели.

В результате исследования установлено, что разработанная система соответствует технологическим и техническим требованиям.

В экономической части выпускной квалификационной работы выполнено технико-экономическое обоснование выбора системы, приведен расчет затрат на проектирование и проведение пусконаладочных работ электропривода насоса буровой установки, а также этапы их проведения.

В работе также рассмотрены вопросы безопасности и экологичности, электробезопасности, промышленной санитарии и пожарной безопасности при монтаже, наладке и обслуживании электропривода на буровой установке.

Содержание

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАСОСА КАКОБЪЕКТААВТОМАТИЗАЦИИ.....	12
1.1 Буровая установка БУ-2900/200 ЭПК БМ	12
1.2 Описание технологического процесса.....	16
1.3 Насосно циркуляционный комплекс буровой установки	19
2. ВЫБОР И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА.....	22
2.1 Электропривод насоса как объект управления	22
2.2 Выбор и расчет параметров электродвигателя	27
2.3 Паспортные параметры электродвигателя	27
2.4 Расчетные параметры двигателя.....	28
2.5 Расчет параметров цепи обмотки возбуждения двигателя.....	29
2.6 Механическая система привода насоса	30
2.7 Параметры ОМС привода насоса	31
2.8 Выбор тиристорного преобразователя.....	34
2.9Выбор трехфазного токоограничивающего реактора	35
2.10 Расчет параметров якорной цепи привода	37
2.11 Расчет параметров тиристорного возбудителя двигателя	39
2.12Расчет параметров цепи обмотки возбуждения двигателя.....	41
2.13 Определение области допустимой работы электропривода насоса	42
2.14Структурная схема силового канала электропривода насоса	48
3 ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА	50
3.1 Функциональная схема электропривода бурового насоса.....	50
3.2 Структурная схема САР скорости электропривода насоса	56
3.3 Оптимизация контура тока.....	58
3.4 Оптимизация контура ЭДС двигателя	60
3.5 Структурная схема САР потока возбуждения двигателя	64
3.6 Оптимизация контура тока возбуждения двигателя	64
4 ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА	66
4.1 Структурная схема нелинейной САУ ЭП насоса	66
4.2 Настройка САУ электропривода на имитационной модели	68
4.3 Исследование САУ электропривода на имитационной модели	69
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	76
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	77
5.1 SWOT-анализ электропривода насоса буровой установки.....	77
5.2 Планирование технического проекта.....	81
5.2.1 Определение структуры работ в рамках технического проектирования	81
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	82
5.2.3 Разработка графика проведения технического проекта	83

5.3 Составление сметы технического проекта	85
5.3.1 Расчет материальных затрат	85
5.3.2 Полная заработная плата исполнителей ВКР	86
5.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	88
5.3.4 Накладные расходы.....	88
5.3.5 Формирование сметы технического проекта	89
5.3.6 Определение ресурсоэффективности проекта	89
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	93
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	94
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	94
6.2 Производственная безопасность.....	96
6.2.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	97
6.2.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	99
6.2.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов	101
6.3 Экологическая безопасность.....	103
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	109
THE CONCLUSION	111
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	112

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Разработать регулируемый электропривод механизма насоса, удовлетворяющий следующим техническим характеристикам.

1. Электропривод нереверсивный с двухзонным регулированием скорости.
2. Максимальная скорость вращения насоса $n_{\text{нмакс}} = 150$ об/мин.
3. Передаточное отношение редуктора насоса $n_{\text{ред}} = 3,152$.
4. КПД насоса, учитывающий гидравлические и механические потери $\eta_{\text{нас}} = 0,849$.
5. Общее передаточное отношение механизма насоса $i_{\text{нас}} = 6,433$.
6. Диапазон регулирования скорости не менее 10.
7. Регулирование скорости безступенчатое.
8. Электропривод должен обеспечивать ограничение максимального момента насоса в соответствии с заданной зависимостью $M_{\text{нмакс}}(\omega_p)$.
9. Погрешность поддержания скорости привода при изменении нагрузки не более 10% на номинальной скорости привода.
10. Время пуска привода до максимальной скорости должно быть регулируемое и составлять не менее 4 с.
11. Режим работы привода длительный, нагрузка переменная, характер нагрузки реактивный.
12. Электропривод должен быть обеспечен соответствующими защитами и блокировками.
13. Сеть трёхфазная, $380 \pm 10\%$ В, 50Гц.

ВВЕДЕНИЕ

Бурением называется воздействие спецтехники на почвенные слои, в результате чего в земле образуется скважина, через которую возможна добыча ценных ресурсов.

Создание современных буровых машин - сложный процесс, обусловленный специфическими условиями работы этих машин, к которым относят:

- способы бурения (вращательный, ударный, комбинированный и др.),
- необходимость прохода через твердые горные породы разнообразных по своим физико-механическим свойствам с высокой степенью абразивности отдельных видов разрушаемых пород;
- процесс бурения нефтяных скважин осуществляется по разным направлениям работы, которые зависят от расположения почвенного или горного пласта: оно может быть горизонтальным, вертикальным либо наклонным;
- работу в запыленной, влажной и загазованной среде.

Поэтому при проектировании современных буровых машин решается огромный комплекс задач по решению, не только технико-экономических показателей, но и эксплуатационных, специальных технологических, а также социальных. [1].

Одним из основных условий выполнения экономических требований является обеспечение минимальных расходов, связанных с процессом проектирования новой буровой техники и изготовлением ее в заводских условиях.

Следовательно, показатели производительности машины, производительность труда обслуживающего персонала этой машины, а также себестоимость получаемой продукции являются важнейшими экономическими показателями.

Основными видами привода буровых установок до недавнего времени считались: электрический (машины переменного тока), дизель-электрический

и дизельный. На смену им создаются электропривода на постоянном токе с использованием тиристорных преобразователей, что позволяет унифицировать все основные узлы бурового оборудования, независимо от автономности привода.

Но несмотря на значительные достижения в области создания высокоэффективного оборудования, в настоящее время существуют значительные недостатки, ухудшающие технико-экономические показатели бурения и особенно глубокого:

- значительный вес и стоимость бурового оборудования;
- не выпускаются серийно необходимые буровикам установки, что приводит к нецелесообразному использованию установок других классов (более тяжелых) и повышает стоимость бурения;
- большинство буровых установок выпускается в неполной комплектности (без вышек, оснований и других комплектующих устройств), что в значительной мере снижает эффективность использования оборудования;
- транспортировка и монтаж бурового оборудования – это сложные и дорогостоящие составляющие этого вида добычи полезных ископаемых;

Задачей данной работы является разработка и исследование двухзонного электропривода (ЭП) бурового насоса БУ 2900/200 ЭПК-БМ.

В качестве основного метода исследования принято имитационное моделирование на ЭВМ с последующим анализом полученных результатов.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАСОСА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

1.1 Буровая установка БУ-2900/200 ЭПК БМ

Процесс бурения состоит из последовательности следующих основных операций:

1. Подвоз техники на участок, где будет производиться работа.
2. Собственно бурение шахты. Процесс включает в себя несколько работ, одна из которых – углубление ствола, которое происходит при помощи регулярного промывания и дальнейшего разрушения горной породы.
3. Чтобы ствол скважины не был разрушен и не засорил ее, пласты породы укрепляют. С этой целью в пространство прокладывают специальную колонну из соединенных между собой труб. Место между трубой и породой закрепляют цементным раствором: эта работа носит название «тампонирования».
4. Последней работой является освоение. На нем вскрывается последний пласт породы, формируется призабойная зона, а также проводится перфорация шахты и отток жидкости.

После установки начинаются процессы по переоснащению талевой системы: в ходе этих работ монтируется оборудование, а также апробируются малые механические средства. Установка мачты открывает процесс забуривания в почву; направление не должно разойтись с осевым центром вышки.

После того, как завершается центровка, проводится создание скважины под направление: под этим процессом понимается установка трубы для усиления ствола и заливка начальной части цементом. После установки направления центровка между самой вышкой и роторными осями регулируется повторно.

Бурение под шурф осуществляется в центре ствола, и в процессе работы делается обсадка при помощи труб. При бурении шурфа используется турбобур, для регулировки скорости вращения необходимо удерживать его посредством каната, который фиксируется на самой вышке, а другой частью удерживается физически.

Буровая установка – комплекс бурового оборудования и сооружений, предназначенных для бурения скважин, смонтированный на точке бурения и обеспечивающий с помощью бурового инструмента самостоятельное выполнение технологических операций по строительству скважин (см. рисунок 1).

Состав узлов буровой установки, их конструкция определяется назначением скважины, условиями и способом бурения. Современные буровые установки включают следующие составные части:

- буровое оборудование (талевый механизм, насосы, буровая лебедка, вертлюг, ротор, силовой привод и т.д.);
- буровые сооружения (вышка, основания, сборно-расборные каркасно-панельные укрытия, приемные мостки и стеллажи);
- оборудование для механизации трудоемких работ (регулятор подачи долота, механизмы для автоматизации спускоподъемных операций, пневматический клиновой захват для труб, автоматический буровой ключ, вспомогательная лебедка, пневмораскрепитель, краны для ремонтных работ, пульт контроля процессов бурения, посты управления);



Рисунок 1 – Буровая установка

- оборудование для приготовления, очистки и регенерации бурового раствора (блок приготовления, вибросита, песко- и илоотделители, подпорные насосы, емкости для химических реагентов, воды и бурового раствора);

- манифольд (нагнетательная линия в блочном исполнении, дроссельно-запорные устройства, буровой рукав);

- устройства для обогрева блоков буровой установки (тепло - генераторы, отопительные радиаторы и коммуникации для развода теплоносителя).

Буровые установки характеризуются двумя параметрами:

1. номинальной грузоподъемностью, которая определяется длительностью эксплуатации оборудования,

2. максимальной грузоподъемностью, определяемой кратковременными перегрузками оборудования.

С ростом глубины скважины разница между номинальной и максимальной грузоподъемностью увеличивается, так как при бурении глубоких скважин возможности кратковременной перегрузки оборудования должны быть значительно больше, чем при бурении мелких скважин. По номинальной грузоподъемности буровые установки для разведочного и эксплуатационного бурения делятся на 5 классов (таблица 1):

Таблица 1 – Классы грузоподъемности буровых установок

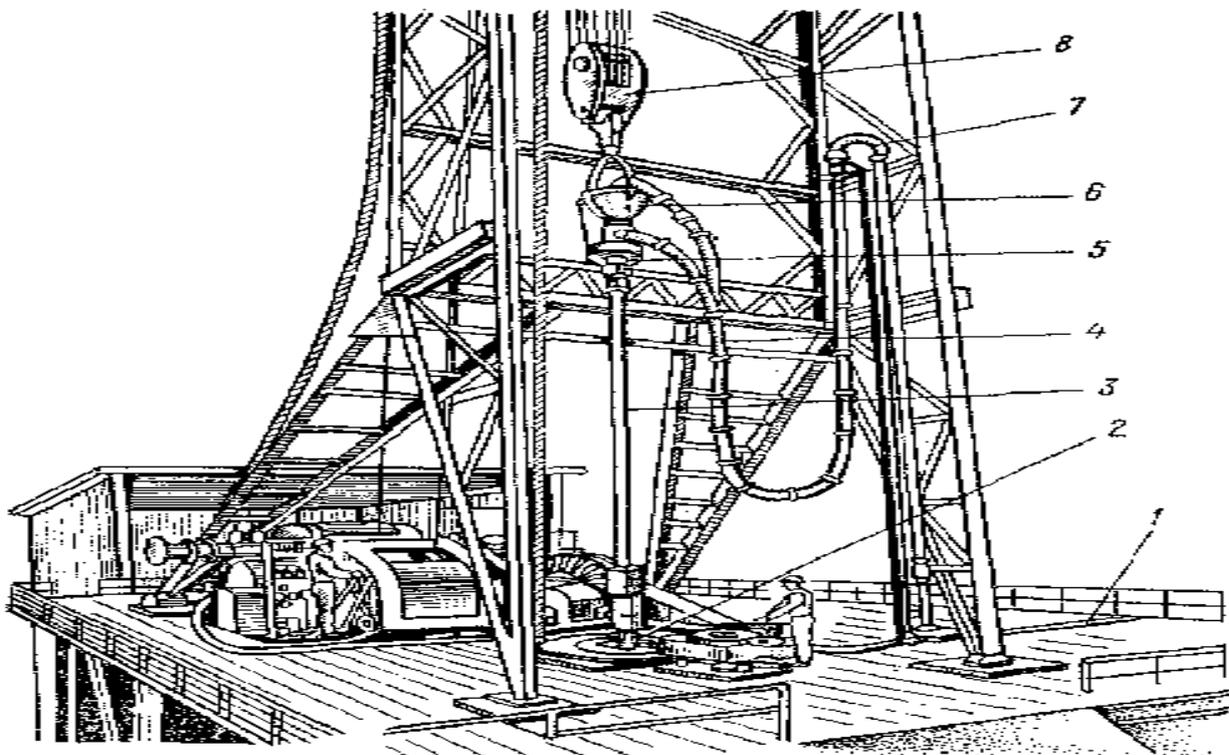
№ класса	1	2	3	4	5
Максимальная грузоподъемность, т	110	140	200	320	450

Буровая установка БУ-2900/200 ЭПК БМ предназначена для бурения нефтяных и газовых скважин глубиной 2900 метров с грузоподъемностью на крюке до 200 тонн.

1.2 Описание технологического процесса

Бурение скважины является сложным производственным процессом, состоящим из отдельных операций, основными из которых являются спускоподъемные и углубление скважины. На рисунке 2 представлен комплекс для вращения бурильной колонны.

Рисунок 2 – Комплекс буровой установки



В его состав входит ротор 2, расположенный на полу буровой 1, вертлюг 6, подвешенный на крюке крюкоблока 8. Вертлюг посредством гибкого бурового рукава 4 и стояка 7 передаёт буровой раствор под давлением в бурильную колонну. Посредством вращателя 5 и квадратной ведущей трубы 3 крутящий момент ротора передаётся бурильной колонне и не передаётся талевой системе.

Спускоподъемные операции включают спуск бурильных труб с породоразрушающим инструментом (бурильной колонной) до забоя скважины и их подъем с отработанным породоразрушающим инструментом на поверхность. На рисунке 3 представлен спуско-подъемный комплекс буровой установки.

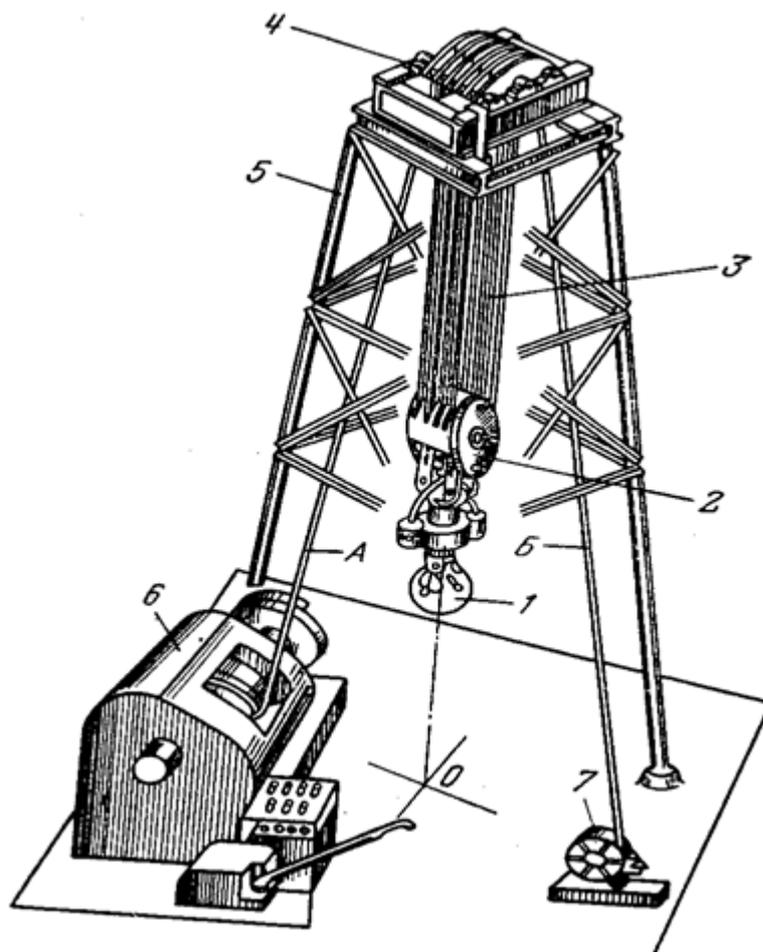


Рисунок 3 – Спуско-подъемный комплекс буровой установки

Спуско – подъемный комплекс буровой установки (рис. 4) представляет собой полиспастный механизм, состоящий из кронблока 4, талевого (подвижного) блока 2, стального каната 3, являющегося гибкой связью между буровой лебёдкой 6 и механизмом 7 крепления неподвижного конца каната. Кронблок 4 устанавливается на верхней площадке буровой вышки 5. Подвижный конец А каната 3 крепится к барабану лебедки 6, а неподвижный конец Б – через приспособление 7 к основанию вышки. К талевому блоку присоединяется крюк 1, на котором подвешивается на штропах элеватор для труб или вертлюг. В настоящее время талевый блок и подъемный крюк объединены в один механизм – крюкоблок.

Для производства спускоподъемных операций буровая вышка имеет талевую оснастку, состоящую из кронблока и талевого блока, на которые намотан талевый канат. К талевому блоку крепится крюк, к которому могут

быть прикреплены инструменты для спуска и подъема. Один конец талевого каната крепится к якорю, другой к лебедке.

Спуск бурильной колонны производится в следующем порядке. Собирают компоновку низа колонны (КНБК), состоящую из долота, колибровочных расширителей, центраторов и утяжеленных бурильных труб, соединенных между собой с помощью переводников. Производят спуск КНБК в скважину. Верхнюю часть закрепляют в роторе клиньями. Отцепляют элеватор и поднимают его до уровня верхней части свечи (несколько бурильных труб, число которых зависит от высоты буровой вышки, соединены муфтами в свечи). Свечи соединяют между собой замками. В элеватор заводят верхний конец свечи, элеватор закрывают и приподнимают всю свечу, чтобы установить ее в верхнюю часть опущенной в скважину бурильной колонны. Производят навинчивание свечи, после чего ее приподнимают, освобождая от клиньев, и производят спуск. Затем в бурильную колонну включают еще одну бурильную трубу, производят спуск колонны с таким расчетом, чтобы долото 1,5-2 м не дошло до забоя и подсоединяют ведущую бурильную трубу, имеющую четырехгранную, шестигранную или фигурную форму для крепления ее в роторе.

На этом операции по спуску заканчиваются и приступают к углублению скважины.

Непосредственно углубление скважины связано с разрушением породы на забое и транспортировкой разрушенной породы (шлама) от забоя на поверхность.

Транспортировка разрушенной породы на поверхность осуществляется с помощью бурового раствора подаваемого от насосов через их обвязку, гибкий буровой шлаг и вертлюг, ведущую трубу, бурильные трубы к долоту. Из долота через отверстия для промывки буровой раствор поступает к забою и вместе с буровым шламом поднимается на поверхность по кольцевому зазору между стенками скважины и бурильными трубами. На поверхности буровой

раствор подвергается очистке от частиц выбуренной породы и по системе желобов направляется в приемную емкость буровых насосов. После этого цикл его движения продолжается.

1.3 Насосно циркуляционный комплекс буровой установки

На рис. 4 показана схема циркуляции бурового раствора и примерное распределение потерь напора в отдельных элементах циркуляционной системы скважины глубиной 2900 м. Из резервуаров 13 очищенный и подготовленный раствор поступает в подпорные насосы 14, которые подают его в буровые насосы 1. Последние перекачивают раствор под высоким давлением (до 30 МПа) по нагнетательной линии, через стояк 2, гибкий рукав 3, вертлюг 4, ведущую трубу 5 к устью скважины 6. Часть давления насосов при этом расходуется на преодоление сопротивлений в наземной системе. Далее буровой раствор проходит по бурильной колонне 7 (бурильным трубам, УБТ и забойному двигателю 9) к долоту 10. На этом пути давление раствора снижается вследствие затрат энергии на преодоление гидравлических сопротивлений.

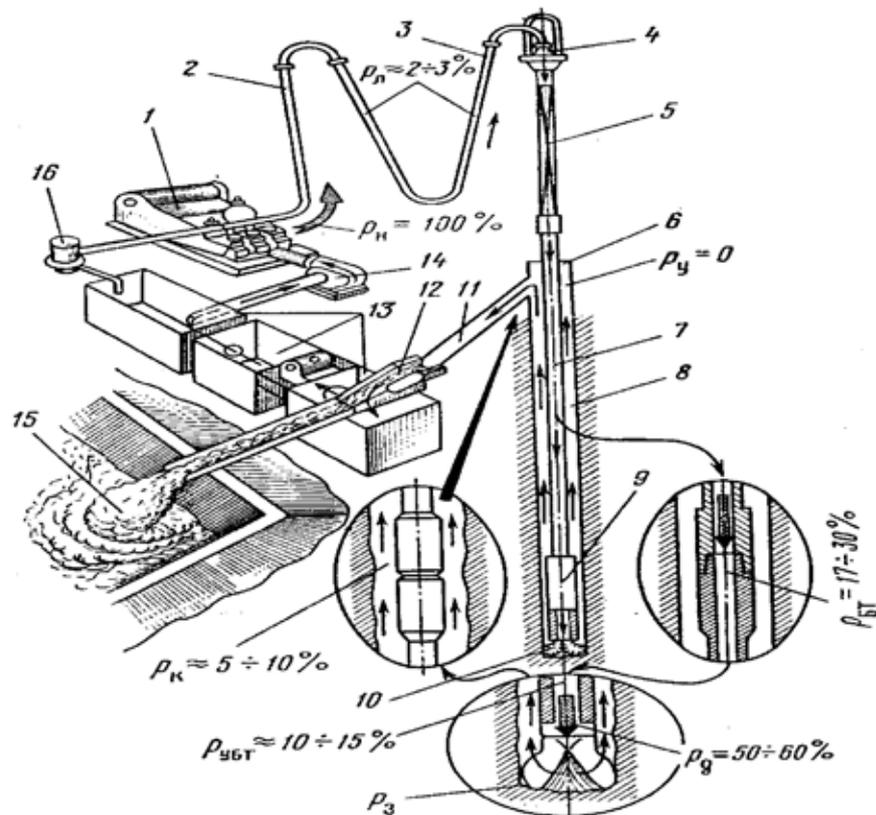


Рисунок 4 – Схема циркуляции бурового раствора

Затем буровой раствор вследствие разности давлений внутри бурильных труб и на забое скважины с большой скоростью выходит из насадок долота, очищая забой и долото от выбуренной породы. Оставшаяся часть энергии раствора затрачивается на подъём выбуренной породы и преодоление сопротивлений в затрубном кольцевом пространстве 8.

Поднятый на поверхность к устью 6 отработанный раствор проходит по растворопроводу 11 в блок очистки 12, где из него удаляются в амбар 15 частицы выбуренной породы и поступает в резервуары 13 с устройствами 16 для восстановления его параметров; и снова направляется в подпорные насосы.

Нагнетательная линия (манифольд) состоит из трубопровода высокого давления, по которому раствор подаётся от насоса 1 к стояку 2 и гибкому рукаву 3, соединяющему стояк 2 с вертлюгом 4. Манifold оборудуется задвижками и контрольно – измерительной аппаратурой. Для работы в

районах с холодным климатом предусматривается система обогрева трубопроводов.

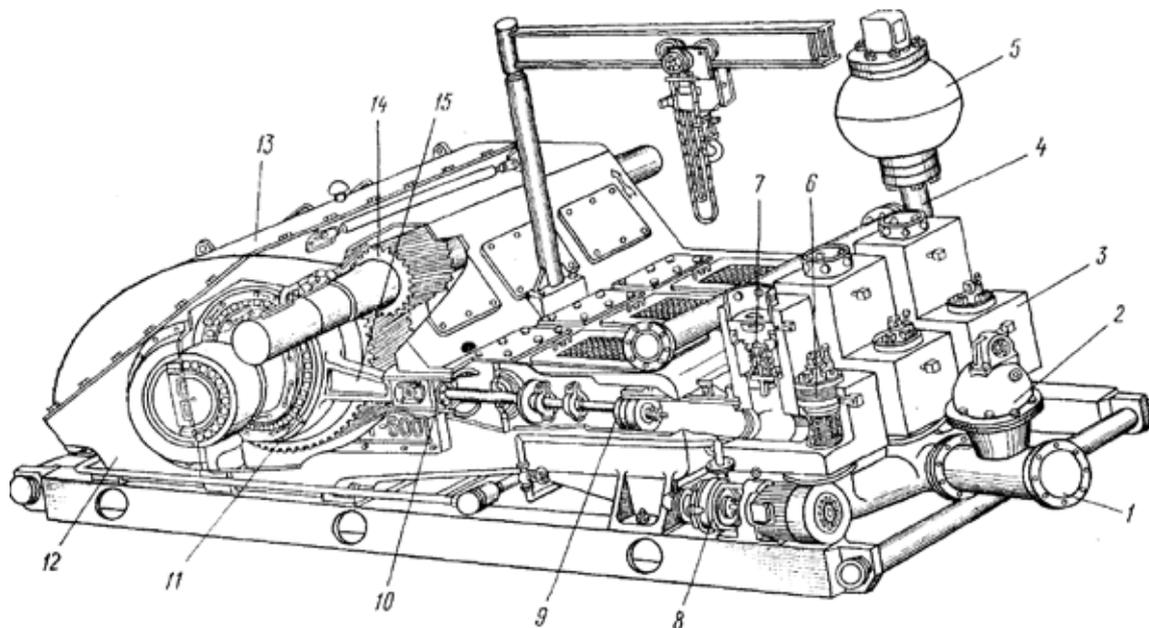


Рисунок 5 Буровой насос УНБ 600

2. ВЫБОР И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА

2.1 Электропривод насоса как объект управления

Кинематическая схема привода насоса проста и представляет собой клиноременную передачу от электродвигателя к насосу, с передаточным отношением $i_{\text{рем}} = 2,041$ (с учетом скольжения в этой передаче 2%) и внутренний зубчатый редуктор насоса с передаточным отношением $i_{\text{ред}} = 3,152$ (см. рис.5), тогда общий коэффициент передачи $i_{\text{нач}} = i_{\text{ред}} \cdot i_{\text{рем}} = 3,152 \cdot 2,041 = 6,433$. КПД ременной передачи $\eta_{\text{рем}} = 0,95$, КПД насоса, учитывающий гидравлические и механические потери, $\eta_{\text{нас}} = 0,849$.

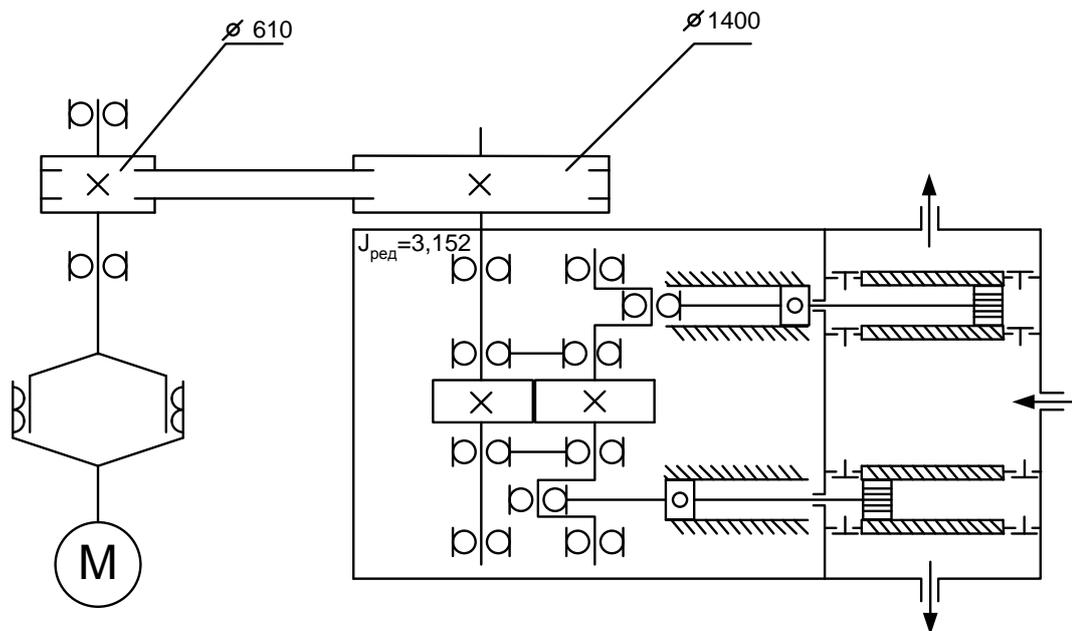


Рисунок 5 - Кинематическая схема насоса.

Насос поршневого принципа действия. Основным параметром режима работы насоса, является число двоичных ходов в минуту, численно равное скорости вращения вала насоса $n_{\text{нас}}$. Максимальная скорость вращения насоса $n_{\text{насмакс}}=150$ об/мин. Тогда максимальная скорость вращения электродвигателя

$$n_{\text{двмакс}}=i_{\text{пер}} \cdot n_{\text{насмакс}}=6,433 \cdot 150=965 \text{ об/мин.}$$

Основные гидравлические параметры насоса:

P_{Γ} – давление на выходе насоса (МПа);

Q_{Γ} – подача жидкости, л/с $=10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;

N_{Γ} – гидравлическая мощность, кВт, теоретически равная

$$N_{\Gamma} = P_{\Gamma} \cdot Q_{\Gamma}.$$

Подача P_{Γ} теоретически прямо пропорциональна скорости вращения насоса (и двигателя) вне зависимости от других параметров режима работы.

Конструктивно насос выполнен с возможностью установки сменных комплектов разного диаметра втулок и поршней. Рабочие режимы насоса ограничены максимальными значениями допустимого давления P_{Γ} и подачи

жидкости Q_{Γ} , а соответственно и скорости вращения насоса и приводного двигателя (для каждого диаметра втулок и поршней D_d эти значения различны). Регулирование подачи $Q_{\Gamma}=\text{var}$ (производительности) насоса достигается регулированием скорости вращения насоса (двигателя) при постоянном значении давления $P_{\Gamma}=\text{const}$. На рисунке 6. показаны регулировочные характеристики насоса $P_{\Gamma}(Q_{\Gamma})$ для разных диаметров втулок и поршней. Здесь же показана предельная характеристика насоса (кривая В) для номинальной гидравлической мощности насоса $N_{\Gamma}=540$ кВт. Расчетные характеристики насоса при изменении скорости вращения, полученные на основании характеристик рисунка 6. приведены на рисунке 7. Режим работы электропривода насоса длительный. Поэтому мощность двигателя выбирается из условия работы насоса с максимальной производительностью. Во всех точках работы 1-7 на предельной характеристике А (см. рисунок 6.), мощность двигателя одинаковая и равна

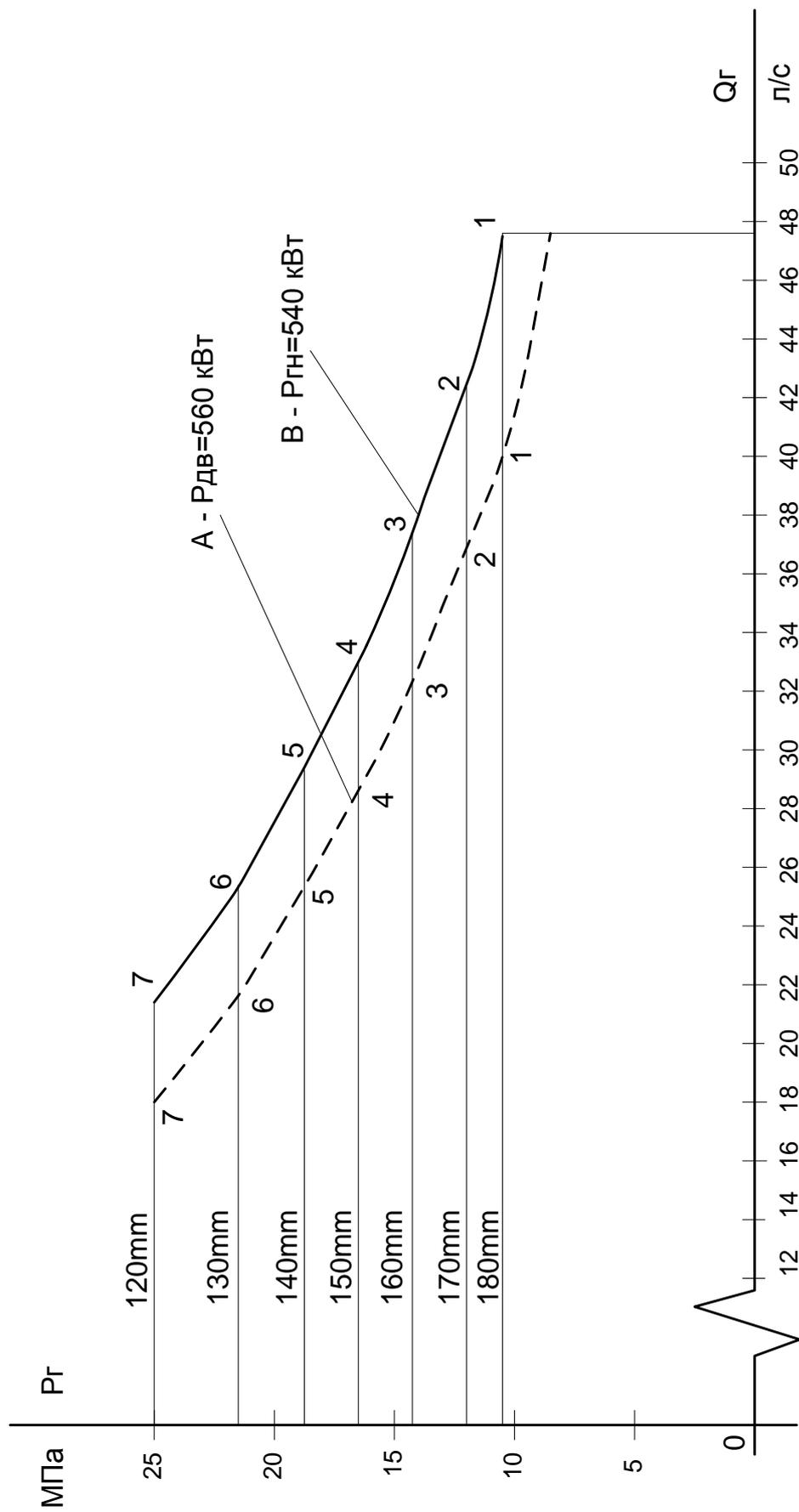


Рисунок 6 – Рабочие характеристики насоса для разных диаметров втулок: А – предельная характеристика при $P_{дв}=560$ кВт; В – предельная характеристика при $P_{дв}=540$ кВт

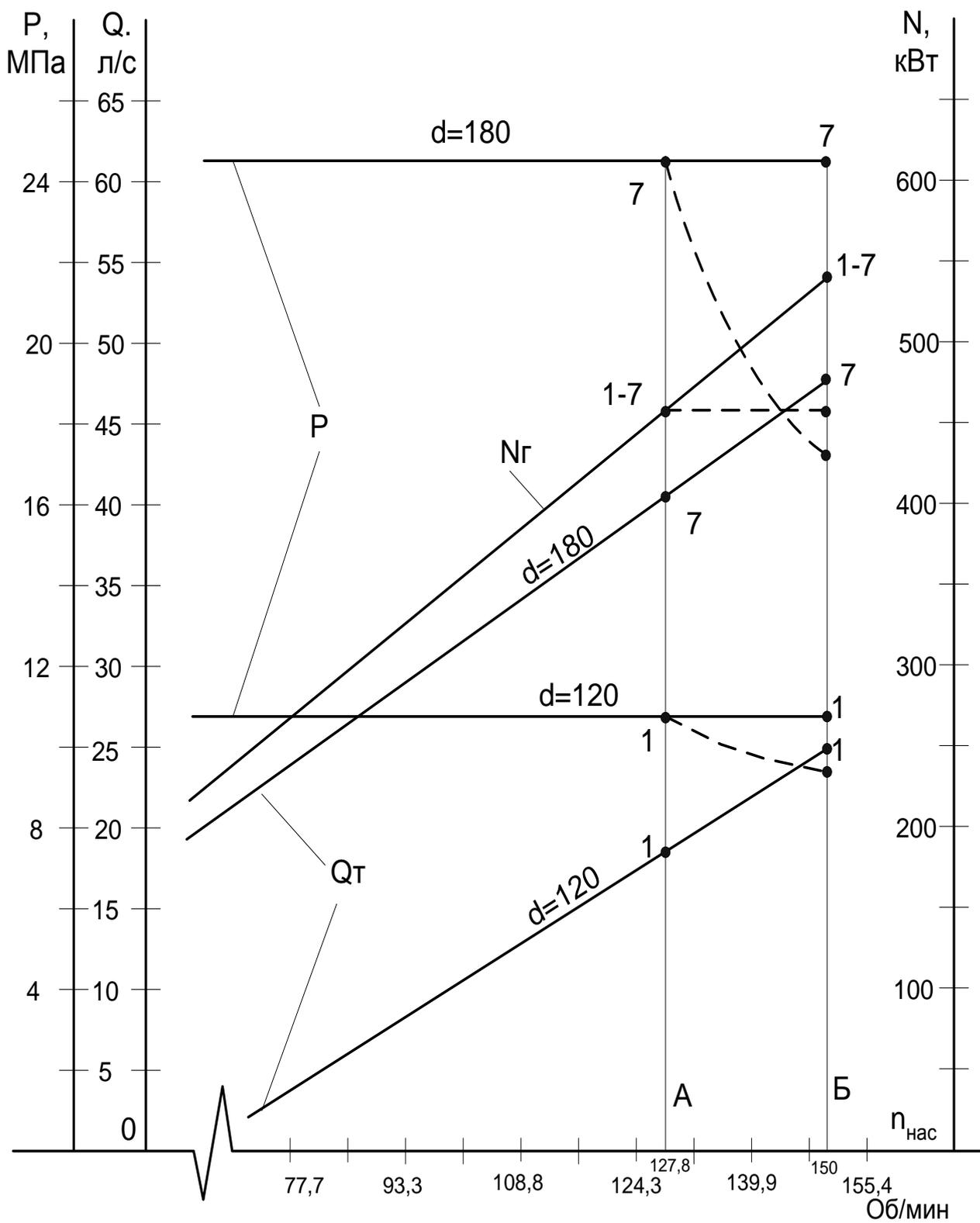


Рисунок 7 – Расчетные характеристики насоса

$P_{\text{двмакс}} = N_{\text{ГН}}/\eta_{\text{рем}} \cdot \eta_{\text{нас}} = 540/0,95 \cdot 0,849 = 669,5$ кВт. При номинальной мощности приводного двигателя $P_{\text{двн}} = 560$ кВт предельный режим работы системы двигатель-насос определяется предельной мощностью насоса

$$N_{\text{Гмакс}} = P_{\text{двн}} \cdot \eta_{\text{рем}} \cdot \eta_{\text{нас}} = 560 \cdot 0,95 \cdot 0,849 = 452 \text{ кВт.}$$

Предельные характеристики для этого режима показаны на рисунках 6 и 7 пунктирными линиями.

Таким образом, регулирование производительности насоса до скорости вращения 822 об/мин (86,08 рад/с) должно вестись при постоянном давлении, а при скорости выше 822 об/мин – при постоянной гидравлической мощности.

На основании характеристик насоса рассчитаны регулировочные характеристики электродвигателя (при условии $\eta_{\text{рем}} \cdot \eta_{\text{нас}} = \text{const}$).

Характеристики приведены на рисунке 6. Регулирование двигателей до скорости 822 об/мин (86,08 рад/с) ведется при постоянном электромагнитном моменте

$$M_{\text{двэм}} = I_{\text{двн}} \cdot K \cdot \Phi_{\text{двн}} \cdot \frac{\omega_{\text{дв}}}{\omega_{\text{д}}} = 1370 \cdot 126,7 \cdot 0,0629 \cdot \frac{500}{822} = 6641,2 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

До скорости $n_{\text{дв}} = 500$ об/мин ($\omega_{\text{двн}} = 52,36$ рад/с) что достигается изменением напряжения двигателя $U_{\text{дв}}$ при $\Phi_{\text{дв}} = \Phi_{\text{двн}}$. Регулирование происходит при постоянном токе двигателя

$$I_{\text{двн}} = \frac{M_{\text{двэм}}}{K \cdot \Phi_{\text{двн}}} = \frac{6641,2}{126,7 \cdot 0,0629} = 833,3 \text{ А.}$$

При скорости выше номинальной (до скорости $n_{\text{д}} = 822$ об/мин) это достигается ослаблением поля двигателя $\Phi_{\text{дв}}$ при номинальном напряжении двигателя.

2.2 Выбор и расчет параметров электродвигателя

Режим работы механизма насоса длительный, поэтому мощность двигателя выбирается по максимальной нагрузке

$$P_{двн} \geq P_{двмакс} = 560 \text{ кВт.}$$

Скорость двигателя выбирается из условий:

$$n_{двн} \geq n_{дв} = 500 \text{ об/мин,}$$

$$n_{двмакс} \geq 1000 \text{ об/мин.}$$

Выбираем электродвигатель типа МПЭ-500-500.

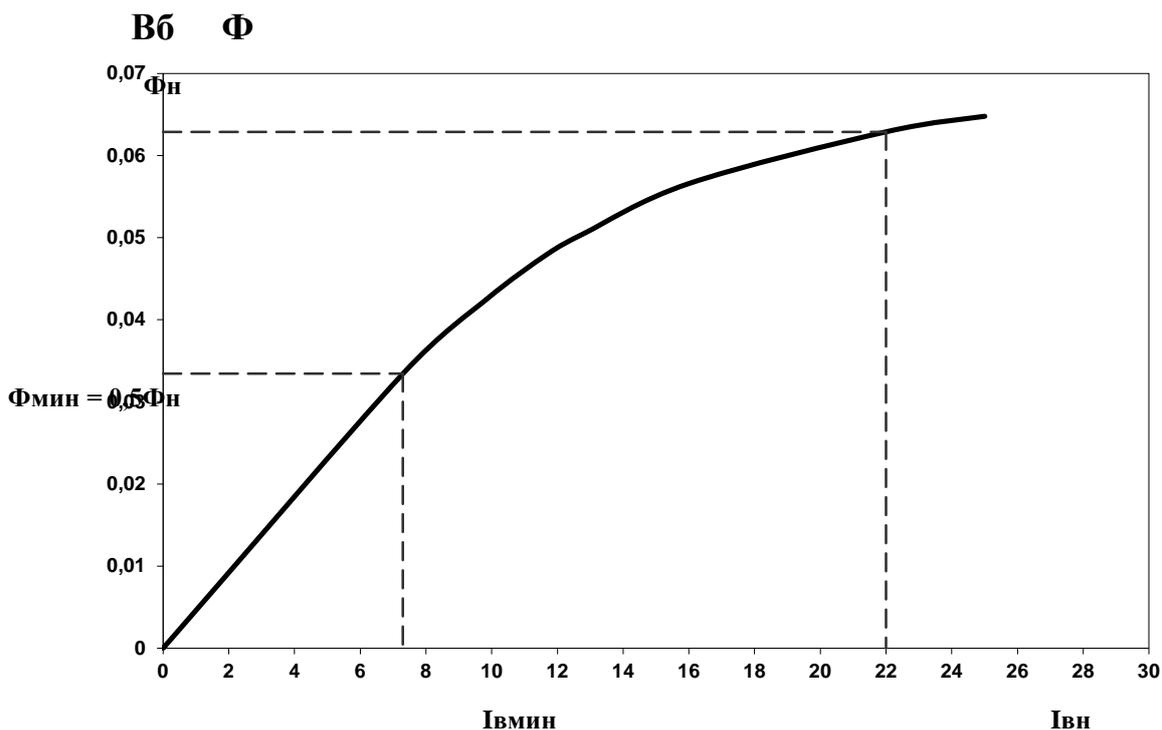
2.3 Паспортные параметры электродвигателя

Паспортные данные двигателя марки МПЭ-500-500 приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Паспортные параметры электродвигателя МПЭ-500-500

Наименование параметра	Обозначение	
Номинальная мощность, кВт	P_H	560
Номинальное напряжение, В	U_H	440
Номинальная скорость вращения, об/мин	n_H	500
Номинальный ток возбуждения, А	I_B	22
Номинальное напряжение возбуждения, В	U_B	220
Максимальная скорость вращения, об/мин	n_{MAX}	1000
Момент инерции якоря, кг·м ²	J_D	40
Сопротивление обмотки якоря при 15°С, мОм	$R_{OЯ}$	7,29
Сопротивление дополнительных полюсов при 15°С, мОм	$R_{ДП}$	1,98
Сопротивление компенсационной обмотки при 15°С, Ом·10 ⁻³	$R_{КО}$	3,28
Число полюсов	$2p$	4
КПД двигателя, %	η	92
Число витков обмотки возбуждения на полюс	W_B	320
Максимально допустимый ток перегрузки двигателя, А	$I_{МАКС}$	2,5 I_H
Номинальный поток возбуждения на полюс, Вб	Φ_H	0,0629

Кривая намагничивания двигателя приведена на рисунке 8.



**I
A**

Рисунок 8 - Кривая намагничивания двигателя МПЭ-500-500

2.4 Расчетные параметры двигателя

Номинальный ток двигателя

$$I_{\text{двн}} = \frac{P_{\text{двн}} \times 10^{-3}}{h_{\text{дв}} \times U_{\text{двн}}} = \frac{10^3 \times 560 \times 100}{92,9 \times 440} = 1370 \text{ А.}$$

Номинальная угловая скорость

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\rho \times n_{\text{двн}}}{30} = \frac{3,14159 \times 500}{30} = 52,36 \text{ рад/с.}$$

Максимальная угловая скорость двигателя

$$\omega_{\text{макс}} = \frac{\rho \times n_{\text{двмакс}}}{30} = \frac{3,14159 \times 1000}{30} = 104,72 \text{ рад/с.}$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{двн}} = \frac{P_{\text{двн}}}{\omega_{\text{двн}}} = \frac{560 \times 10^3}{92,9 \times 440} = 10695,2 \text{ Н·м.}$$

Индуктивность двигателя

$$L_{\text{дв}} = g \times \frac{U_{\text{двн}}}{p \times W_{\text{двн}} \times I_{\text{двн}}} = 0,15 \times \frac{440}{2 \times 2,3599 \times 1370} = 0,00046 \text{ Гн}$$

где $g = 0,1-0,2$ - для машин с компенсационной обмоткой, принимаем $g = 0,15$.

Сопротивление двигателя в холодном состоянии

$$R_{\text{дв}} = R_{\text{оя}} + R_{\text{дп}} + R_{\text{ко}} = 0,00729 + 0,00198 + 0,00328 = 0,01255 \text{ Ом.}$$

Сопротивление двигателя в горячем состоянии. Примем температуру перегрева обмоток 80°C

$$R_{\text{двгор}} = 1,32 \times R_{\text{дв}} = 1,32 \times 0,01255 = 0,0166 \text{ Ом.}$$

Коэффициент ЭДС $\frac{E}{\omega \Phi}$ и электромагнитного момента $\frac{M}{A \Phi}$ при номинальном потоке возбуждения

$$C = (K \times \Phi_{\text{двн}}) = \frac{U_{\text{двн}} - I_{\text{двн}} \times R_{\text{двгор}}}{\omega_{\text{двн}}} = \frac{440 - 1370 \times 0,0166}{52,36} = 7,97$$

Конструктивный коэффициент двигателя

$$K = \frac{(K \times \Phi_{\text{двн}})}{\Phi_{\text{двн}}} = \frac{7,97}{0,0629} = 126,7$$

2.5 Расчет параметров цепи обмотки возбуждения двигателя

Кривая намагничивания двигателя приведена на рисунке 8.

Индуктивность обмотки возбуждения основного потока на графике кривой намагничивания от $\Phi_{\text{двн}}$ до $\Phi_{\text{дв мин}}$

- на начальном участке кривой намагничивания (максимальное значение)

$$L_{\text{ов макс}} = 2 \times p \times W_e \times \frac{\Delta \Phi_0}{\Delta I_{\text{ов}}} = 4 \times 320 \times \frac{0,06}{7} = 10,97 \text{ Гн,}$$

- в точке номинального режима работы (минимальное значение)

$$L_{овмин} = 2 \times p \times W_{\epsilon} \times \frac{D\Phi_H}{DI_{вн}} = 4 \times 320 \times \frac{0,012}{11} = 1,4 \text{ Гн,}$$

- усредненное значение на рабочем участке ($\Phi_{мин}$, Φ_H)

$$L_{овср} = 2 \times p \times W_{\epsilon} \times \frac{D\Phi_{ср}}{DI_{вср}} = 4 \times 320 \times \frac{0,06}{15} = 5,12 \text{ Гн,}$$

- индуктивность потока рассеяния

$$L_s = 2 \times p \times W_{\epsilon} \times \frac{0,18\Phi_H}{DI_{вн}} = 4 \times 320 \times \frac{0,18 \times 0,0669}{22} = 0,700625454 \text{ Гн,}$$

где $d=0,18$ – коэффициент учета рассеяния потока.

- сопротивление обмотки возбуждения горячее

$$R_{овгор} = 1,3 \times R_{\epsilon} = 1,3 \times 5,5 = 7,15 \text{ Ом.}$$

2.6 Механическая система привода насоса

Расчетная схема механической системы привода насоса приведена на рисунке 9. и представляет собой одномассовую механическую систему.

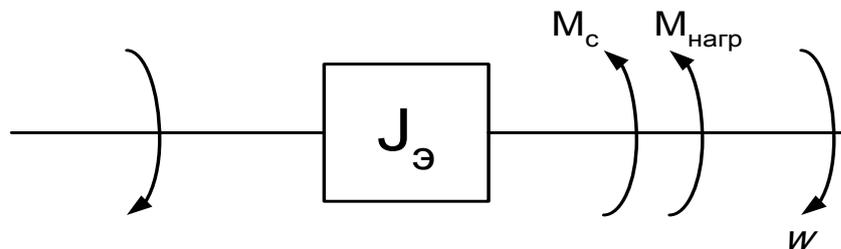


Рисунок 9 – Расчетная схема ОМС электропривода насоса

На рисунке 9. приняты обозначения:

$M_{двэм}$ – электромагнитный момент электродвигателя;

J_{ϵ} – эквивалентный момент инерции, приведенный к валу двигателя;

M_c – момент сопротивления (трения) приведенный к валу двигателя;

$M_{\text{нагр}}$ – полезный момент на валу насоса, реактивного по характера приведенный к валу двигателя.

Структурная схема одномассовой механической системы (ОМС) привода насоса приведена на рисунке 10.

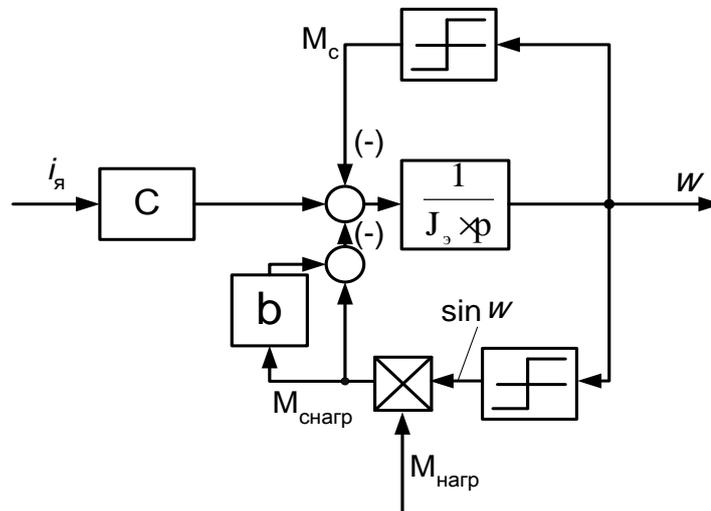


Рисунок 10 – Структурная схема ОМС электропривода насоса.

2.7 Параметры ОМС привода насоса

Эквивалентный момент инерции механизма, приведенный к валу двигателя, определяется по упрощенному выражению

$$J_э = (1,15 \div 1,25) J_{\text{дв}} = 1,25 \cdot 40 = 50 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Момент сопротивления сил трения на валу электродвигателя

$$M_{\text{сдв}} = C \cdot I_{\text{двн}} - M_{\text{двн}} = 7,97 \cdot 1370 - 10695,2 = 223,7 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Постоянные потери в клиноременной передаче и постоянные потери насоса, учитывающее его механические и гидравлические потери

$$M_{\text{пос}} = a \cdot M_{\text{перн}} = 0,12 \cdot 6629,2 = 795,5 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$\text{где } a = v = \frac{1 - \eta_{\text{рем}} \times \eta_{\text{нас}}}{2\eta_{\text{рем}} \times \eta_{\text{нас}}} = \frac{1 - 0,95 \times 0,849}{2 \times 0,95 \times 0,849} = 0,12,$$

a – коэффициент постоянных потерь в передаче,

v – коэффициент переменных потерь в передаче.

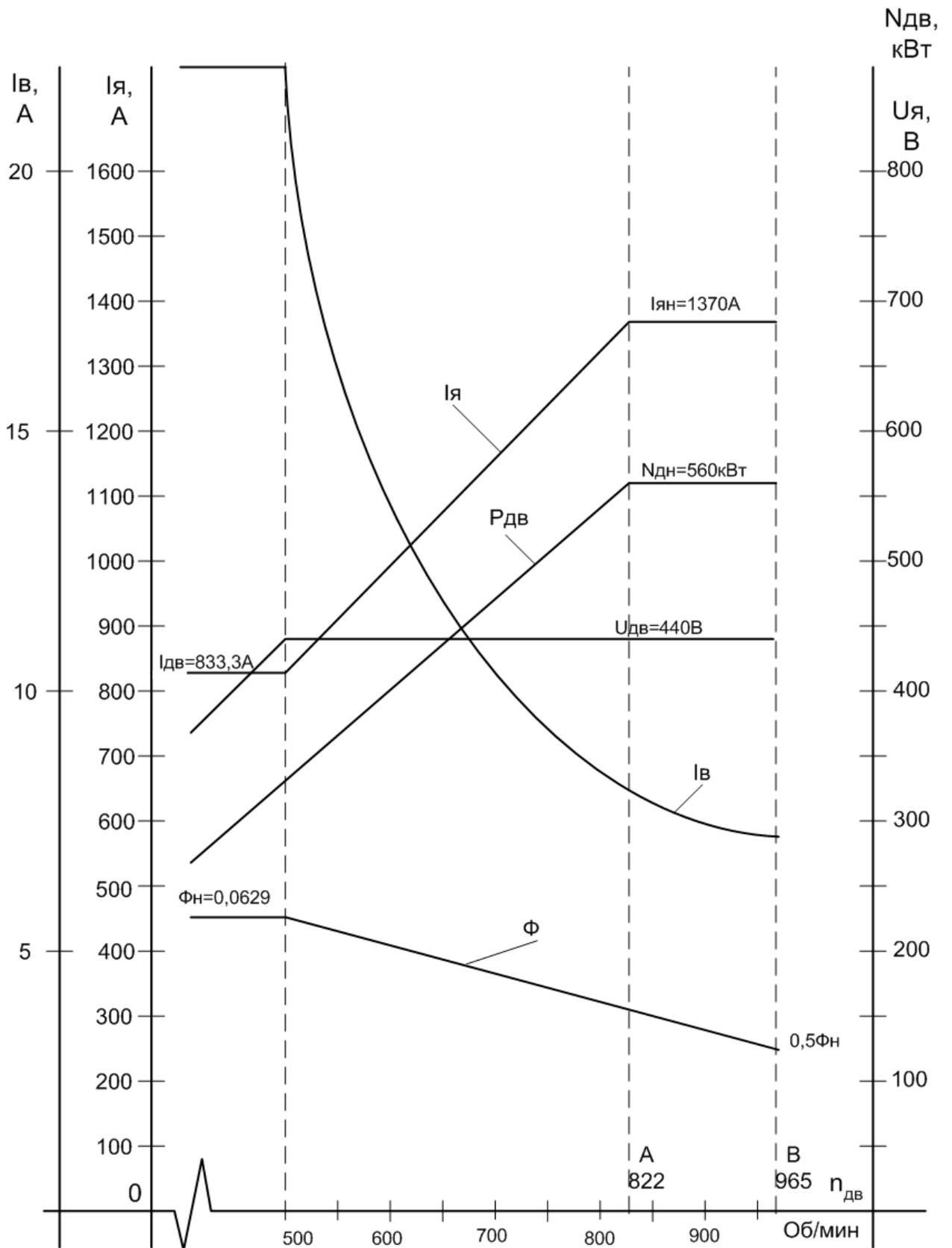


Рисунок 11 – Расчетные характеристики электропривода насоса

$M_{перн}$ – номинальный (расчетный), передаваемый момент передаточного механизма, ориентировочно определяем по выражению

$$M_{перн} = \frac{N_{гн}}{\omega_{насн} \eta_{рем} \eta_{нас} \eta_{пер}} = \frac{540 \times 10^3}{15,7 \times 0,95 \times 0,849 \times 6,433} = 6629 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$\omega_{насн} = \frac{\pi \eta_{нас}}{30} = \frac{3,14 \times 50}{30} = 15,7 \text{ рад/с} - \text{номинальная угловая скорость}$$

насоса.

Момент на валу насоса приведенный к валу двигателя определяется

выражением $M_{нас} = \frac{N_2}{\omega_{нас} \eta_{пер}}$.

Максимальное допустимое значение момента на валу насоса не зависит от диаметра втулки и поршня и может быть найдено, например, для работы в точке 7 на характеристике А рисунка 6 и 7.

$$M_{насм\text{акс}} = \frac{N_{гмакс}}{\omega_{дв}} = \frac{452 \times 10^3}{86,08} = 5250,9 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

На рисунке 12. приведе на структурная схема ОМС привода насоса.

Параметры механической системы:

$$M_c = M_{сдв} + M_{пос} = 223,7 + 795,5 = 1019,2 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{снагр} = M_{нагр} \cdot \sin \omega;$$

$$M_{нагр} = 5250,9 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$\omega = 0,12$$

2.8 Выбор тиристорного преобразователя

Условиями выбора преобразователя являются:

$$U_{дн} \geq U_{двн}; \quad I_{дн} \geq I_{двн}; \quad I_{дмакс} \geq I_{дмакс}.$$

По параметрам двигателя:

$$U_{двн} = 440 \text{ В}; \quad I_{двн} = 1370 \text{ А}; \quad I_{двмакс} = 2,5 \times 1370 = 3425 \text{ А}$$

выбираем преобразователь специального исполнения с техническими характеристиками:

- преобразователь нереверсивный;
- трехфазная мостовая схема выпрямления;
- преобразователь состоит из двух управляемых выпрямителей, включенных параллельно (см. рисунок 13.);

сглаживающего реактора в цепи двигателя нет;

$$U_{дн} = 460 \text{ В};$$

$$I_{дн} = 1600 \text{ А};$$

$$I_{дмакс} = 2,25 \times I_{дн} = 3600 \text{ А} - \text{ в течение } 10 \text{ с.}$$

Для регулирования скорости привода выше номинальной скорости двигателя ослаблением поля предусмотрен нереверсивный управляемый тиристорный возбудитель, выполненный по однофазной мостовой схеме выпрямления.(см. рисунок 6.).

2.9 Выбор трехфазного токоограничивающего реактора

Необходимое значение полного сопротивления обмотки фазы реактора

$$Z_{фрасч} = \frac{U_{кз} \% \times U_{сф}}{100 \times I_{фрасч}} = \frac{5,5 \times 380}{\sqrt{3} \times 100 \times 586,18875} = 0,02058 \text{ Ом}$$

$$\text{где } I_{фрасч} = k_{i2ф} \times k_i \times \frac{I_{двн}}{2} = 0,815 \times 1,05 \times \frac{1370}{2} = 586,2 \text{ А} - \text{ расчетный}$$

фазный ток одной группы вентиляей;

$U_{сф}$ - фазное напряжение питающей сети;

$U_{кз}$ - напряжение короткого замыкания реактора, принимаем $U_{кз} = 5,5$

%.

Предварительно пренебрегаем активным сопротивлением обмоток реактора, тогда $X_{\text{фрасч}} = Z_{\text{ф}}$ и необходимое значение индуктивности обмотки фазы реактора

$$L_{\text{фрасч}} = \frac{X_{\text{фрасч}}}{\omega_c} = \frac{0,02058}{314} = 0,066 \times 10^{-3} \text{ Гн}$$

Выбираем трехфазный токоограничивающий реактор типа РТСТ-660-0,64у3 с паспортными данными данными:

$$U_{\text{л}} = 410 \text{ В};$$

$$I_{\text{фн}} = 660 \text{ А};$$

$$L_{\text{р}} = 0,064 \cdot 10^{-3} \text{ Гн};$$

$$R_{\text{рф}} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

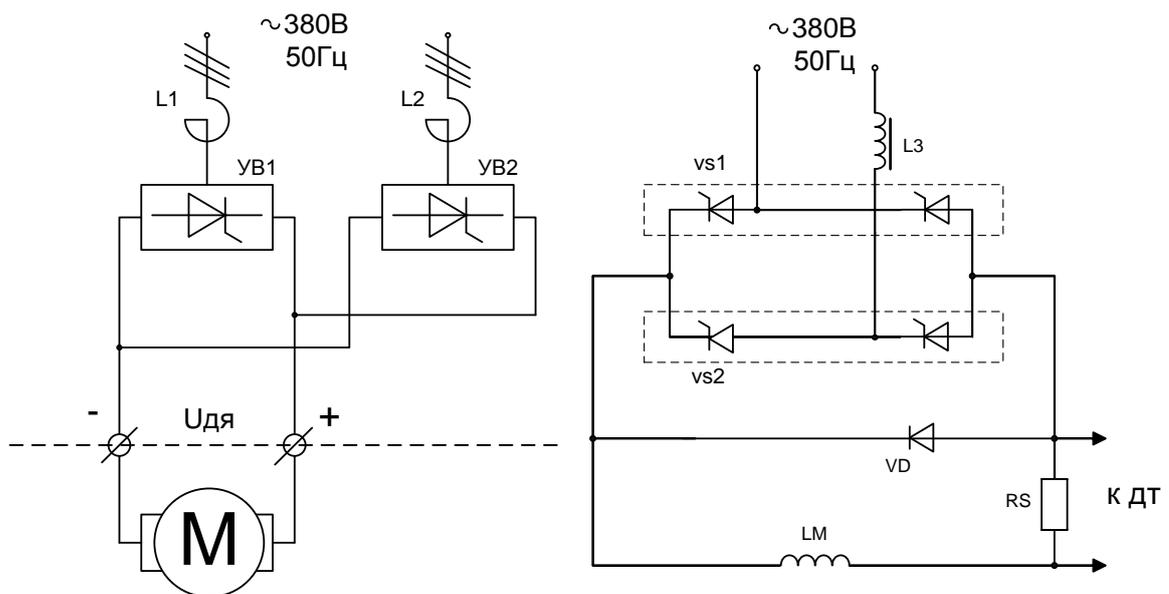


Рисунок 13 – Схема электрическая силовой цепи привода насоса

Индуктивное сопротивление обмотки фазы реактора

$$X_{\text{фрасч}} = \omega_c \times L_{\text{р}} = 314 \times 0,000064 = 20,1 \times 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Активное сопротивление силовой цепи выпрямителя

$$R_{\text{к}} = \frac{m_{\text{в}} \times X_{\text{фрасч}}}{2 \times \varphi} = \frac{6 \times 20,096 \times 10^{-3}}{2 \times 3,14} = 0,019190266 \text{ Ом}$$

где $m_b=6$ число полюсов для трехфазной мостовой схемы выпрямления.

2.10 Расчет параметров якорной цепи привода

Сопротивление якорной цепи с учетом параллельного включения двух выпрямительных мостов

$$R_{\text{яц}} = R_{\text{ТП}} + R_{\text{двгор}} + 0,1 \times R_{\text{двгор}} = \\ = 11,6 \times 10^{-3} + 16,6 \times 10^{-3} + 0,1 \times 16,6 \times 10^{-3} = 29,86 \times 10^{-3} \text{ Ом},$$

$$\text{где } R_{\text{ТП}} = \frac{2 \times R_{\text{рф}} + R_{\text{к}}}{2} = \frac{2 \times 2,1 \times 10^{-3} + 19 \times 10^{-3}}{2} = 11,6 \times 10^{-3} \text{ Ом}$$

- сопротивление силовой цепи преобразователя.

Индуктивность якорной цепи

$$L_{\text{яц}} = L_{\text{дв}} + L_{\text{ТП}} = 0,46 \times 10^{-3} + 0,64 \times 10^{-4} = 0,524 \times 10^{-3} \text{ Гн},$$

где $L_{\text{ТП}} = \frac{2 \times L_{\text{рф}}}{2} = \frac{2 \times 0,64 \times 10^{-4}}{2} = 0,64 \times 10^{-4} \text{ Гн}$ – индуктивность силовой цепи преобразователя.

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи

$$T_{\text{яц}} = \frac{L_{\text{яц}}}{R_{\text{яц}}} = \frac{0,524 \times 10^{-3}}{29,86 \times 10^{-3}} = 17,5 \times 10^{-3} \text{ с.}$$

Максимальное значение граничного тока зоны прерывистых токов для якорной цепи

$$I_{\text{дгрмакс}} = \frac{1}{w_c} \times K_{\text{грмакс}} \times \frac{U_{\text{сф}}}{K_{\text{у2}} \times L_{\text{яц}}} = \\ = \frac{1}{3,14} \times 0,093 \times \frac{220}{0,428 \times 0,524 \times 10^{-3}} = 290,5 \text{ А},$$

где $K_{\text{грмакс}} = 1 - \frac{\rho}{m_b} \times \text{ctg} \frac{\rho}{m_b} = 1 - \frac{3,14}{6} \times \text{ctg} \frac{3,14}{6} = 0,093$;

$K_{\text{у2}} = 0,428$ - расчетный коэффициент напряжения для трехфазной мостовой схемы. Что в относительных единицах составляет

$$\frac{I_{\text{дгрмакс}}}{I_{\text{ДВН}}} = \frac{290,5}{1370} = 0,212.$$

Максимальная величина пульсаций тока двигателя при угле управления $\alpha = 90^\circ$ и номинальном токе нагрузки в %

$$P(1)\% = \frac{E_{\text{дг}1\%}^{\text{дг}} \times 100}{m_{\text{в}} \times \omega_{\text{с}} \times I_{\text{н}} \times L_{\text{яц}}} = \frac{124,6 \times 100}{6 \times 314 \times 370 \times 0,524 \times 10^{-3}} = 9,21\% ,$$

$$\text{где } E_{\text{дг}1\%}^{\text{дг}} = \frac{U_{\text{сн}} \times \sqrt{2} \times m_{\text{в}}}{K_{\text{у2}} \times (m_{\text{в}}^2 - 1)} = \frac{220 \times \sqrt{2} \times 6}{0,428 \times (6^2 - 1)} = 124,6\text{В}$$

- действующее значение первой гармоники выпрямленного напряжения при угле управления $\alpha = 90^\circ$.

Полученные результаты можно считать удовлетворительными, поэтому сглаживающий реактор в цепь двигателя не устанавливаем.

Электромеханическая постоянная времени привода

$$T_{\text{М}} = \frac{J_{\text{Э}} \times R_{\text{ЯЦ}}}{(K \times \Phi_{\text{ДВ}})^2}.$$

При номинальном потоке возбуждения двигателя

$$T_{\text{М}} = \frac{48 \times 29,86 \times 10^{-3}}{7,97^2} = 0,02256 \text{ с.}$$

При минимальном потоке возбуждения двигателя

$$T_{\text{М}} = \frac{48 \times 29,86 \times 10^{-3}}{3,985^2} = 0,01588 \text{ с.}$$

2.11 Расчет параметров тиристорного возбудителя двигателя

Для регулирования скорости выше номинальной скорости двигателя ослаблением поля, предусмотрен нереверсивный управляемый тиристорный возбудитель, выполненный по однофазной мостовой схеме выпрямления с нулевым вентилем.

Принципиальная электрическая схема тиристорного возбудителя двигателя насоса приведена на рисунке 14.

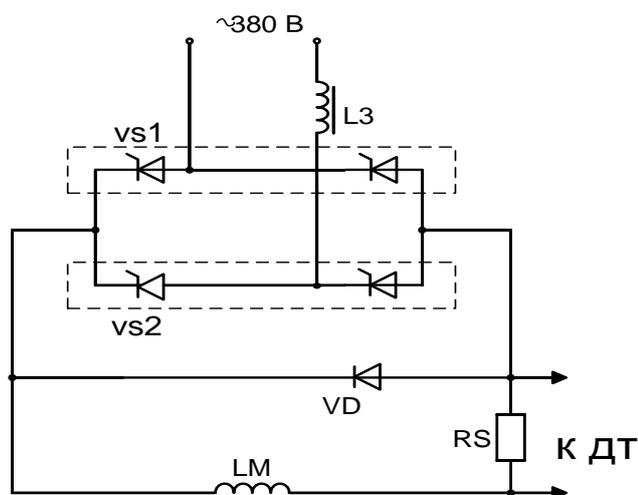


Рисунок 14 - Схема тиристорного возбудителя

Управляемый выпрямитель возбудителя выполнен по однофазной мостовой схеме выпрямления с нулевым вентилем. К однофазной сети возбудитель подключается через токоограничивающий реактор L3.

Номинальное напряжение обмотки возбуждения двигателя

$$U_{вн} = I_{вн} \cdot R_{овгор} = 22 \cdot 7,15 = 157,3 \text{ В.}$$

Требуемое напряжение однофазной сети

$$U_c = \frac{K_{u2} \cdot U_{вн}}{\cos \alpha_{мин}} = \frac{1,11 \cdot 157,3}{\cos 30^\circ} = 201,23 \text{ В.}$$

Для обеспечения коэффициента форсировки при восстановлении потока двигателя принимаем номинальное напряжение однофазной сети возбудителя

$$U_{сн} = U_{л} = 380 \text{ В.}$$

Необходимое значение сопротивления токоограничивающего реактора

$$Z_{p3} = \frac{U_{кз} \times I_{фн}}{100 \times I_{фрасч}} = \frac{5,5 \times 380}{100 \times 36,63} = 0,57 \text{ Ом,}$$

где $I_{фрасч} = K_{iф} \times K_i \times I_{дн} = 1,11 \times 1,1 \times 30 = 36,63 \text{ А}$ - расчетный ток

возбудителя, потребляемый из сети;

$I_{дн} = 30 \text{ А}$ - номинальный выпрямленный ток типового возбудителя;

$U_{êç} = 5,5\%$ - напряжение К.З. реактора.

Пренебрегая активным сопротивлением реактора $R_p \gg 0$ определим индуктивное сопротивление и индуктивность обмотки реактора

$$X_{фрасч} = Z_{фрасч} = 0,02058 \text{ Ом,}$$

$$L_{фрасч} = \frac{X_{фрасч}}{\omega_c} = \frac{0,02058}{314} = 6,55 \times 10^{-5} \text{ Гн,}$$

где $\omega_{ñ} = 2\pi \times f_c = 2 \times 3.14159 \times 50 = 314 \text{ рад/с.}$

Выбираем типовой блок возбудителя двигателя БВД исполнения «01» с параметрами:

$I_{дн} = 30 \text{ А}$ - номинальный ток;

$U_{упв макс} = 10 \text{ В}$ - максимальное напряжение управления на входе возбудителя;

$a_{мин} = 30^\circ$, $a_{нач} = 150^\circ$, $a_{макс} = 180^\circ$ - углы управления возбудителем.

Среднее значение ЭДС возбудителя при угле управления $a = 0^\circ$

$$E_{доc} = \frac{U_c}{K_{u2}} = \frac{380}{1.11} = 342 \text{ В.}$$

Максимальное значение коэффициента усиления тиристорного возбудителя

$$K_{тпв макс} = \frac{\rho \times E_{доc}}{U_{упв макс}} \times \frac{a_{нач} - a_{мин}}{180^\circ} = \frac{3,14 \times 342}{10} \times \frac{150^\circ - 30^\circ}{180^\circ} = 71,5.$$

Регулировочная характеристика возбудителя имеет вид (см. рисунок 15)

$$E_{\text{ТПВ}} = \frac{E_{\text{дов}}}{2} (1 + \cos a).$$

Постоянная времени тиристорного возбудителя

$$T_{\text{ТПВ}} = \frac{0,5}{m_B \times f_C} = \frac{0,5}{2 \times 50} = 0,005 \text{ с.}$$

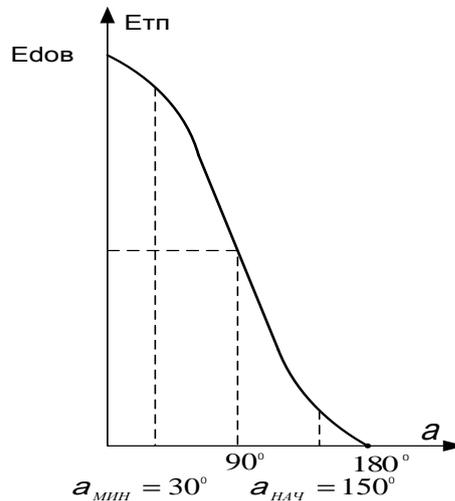


Рисунок 15 - Регулировочная характеристика возбудителя

Коэффициент передачи датчика тока возбуждения

$$K_{\text{ДТВ}} = \frac{U_{\text{дтв.макс}}}{I_{\text{двн}}} = \frac{10}{30} = 0,333 \text{ В/А.}$$

2.12 Расчет параметров цепи обмотки возбуждения двигателя

Сопротивление цепи обмотки возбуждения (активным сопротивлением цепи тиристорного возбудителя пренебрегаем).

$$R_{\text{ЦВ}} = R_{\text{ОВГОР}} + 0,1R_{\text{ОВГОР}} = 7,15 + 0,1 \cdot 7,15 = 7,865 \text{ Ом.}$$

Постоянная времени основного потока обмотки возбуждения

$$T_{\text{в}} = \frac{L_{\text{ОВ}}}{R_{\text{ЦВ}}} = \frac{5,12}{7,865} = 0,651 \text{ с}$$

где $L_{\text{ОВ}}$ принимаем равной $L_{\text{ОВСР}} = 5,12 \text{ Гн.}$

Постоянная времени потока рассеяния обмотки возбуждения

$$T_s = \frac{L_s + L_{ppacч}}{R_{цв}} = \frac{0,7 + 0,131 \times 10^{-3}}{7,865} = 0,089 \text{ с}$$

где $L_{ppacч} = 2 \cdot L_{фpacч} = 2 \cdot 0,0655 \cdot 10^{-3} = 0,131 \cdot 10^{-3}$ Гн – индуктивность цепи возбуждения.

Постоянная времени контура вихревых токов

$$T_k @ 0,1 \times T_{\sigma} = 0,0651 \text{ Гн.}$$

Цепь обмотки возбуждения представим в виде передаточной функции

$$W(p) = \frac{1/R_{цв}}{(T_1 \times p + 1)(T_2 \times p + 1)} =$$

$$= \frac{1/7,865}{(0,7978p + 1)(0,00726p + 1)} = \frac{0,127}{0,00579p^2 + 0,80506p + 1},$$

$$\text{где } T_{1,2} = \frac{T_{\sigma} + T_s + T_k}{2} \pm \sqrt{\frac{\sigma(T_{\sigma} + T_s + T_k)}{2} - T_s \times T_k}$$

$$T_{1,2} = \frac{0,651 + 0,089 + 0,0651}{2} \pm \sqrt{\frac{\sigma(0,651 + 0,089 + 0,0651)}{2} - 0,089 \times 0,0651} =$$

$$= 0,40255 \pm 0,39529 \text{ с,}$$

тогда $T_1 = 0,797837 \text{ с,}$

$$T_2 = 0,007262 \text{ с.}$$

2.13 Определение области допустимой работы электропривода насоса

Область работы электропривода ограничена с одной стороны допустимым током двигателя и преобразователя: $I_{ЭП \text{ макс}} = 2 \cdot I_{двн} = 2740 \text{ А}$ при $\Phi_{дв} = \Phi_{двн}$ и $I_{ЭП \text{ макс}} = 1,5 \cdot I_{двн} = 2055 \text{ А}$ при $\Phi_{дв} < \Phi_{двн}$, а с другой стороны минимальным углом управления преобразователем $\alpha = \alpha_{\text{мин}}$.

Минимальный угол управления преобразователем якорной цепи при пониженном напряжении сети

$$a_{\min} = \arccos \frac{C \times W_{\text{эпмакс}} + I_{\text{двн}} \times R_{\text{яц}}}{K_{\text{ис}} \times E_{\text{д0}}} = \arccos \frac{7.97 \times 52.36 + 1370 \times 0.02997}{0.9 \times 512.6}$$

$$a_{\min} = \arccos 0.996279125 = 5.49354^{\circ},$$

принимаем $a_{\min} = 6^{\circ}$.

Предельная электромеханическая характеристика привода при a_{\min} и

$\Phi_{\text{двном}}$

$$w(I) = \frac{1}{K \times \Phi_{\text{двном}}} (K_{\text{ис}} \times E_{\text{д0}} \times \cos a_{\min} - I_{\text{дв}} \times R_{\text{яц}}).$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Область работы электропривода

		K _{ис} =0.9		
Φ _{дв} =0,11	I _{дв} А	0	I _{двн} 1370	I _{двмакс} 3425
	W _{дв} рад•с	57,63	52,48	44,75
		K _{ис} =1		
Φ _{дв} =0,11	I _{дв} А	0	I _{двн} 1370	I _{двмакс} 3425
	W _{дв} рад•с	64,03	58,88	51,15
		K _{ис} =0.9		
Φ _{дв} =0,055	I _{дв} А	0	I _{двн} 1370	I _{двмакс} 3425
	W _{дв} рад•с	115,25	104,95	89,5
		K _{ис} =1		
Φ _{дв} =0,055	I _{дв} А	0	I _{двн} 1370	I _{двмакс} 3425
	W _{дв} рад•с	128,06	117,76	102,3

По табличным данным на рисунке 16 построены предельные характеристики электропривода насоса, ограничивающие его область допустимой работы в 1 квадранте.

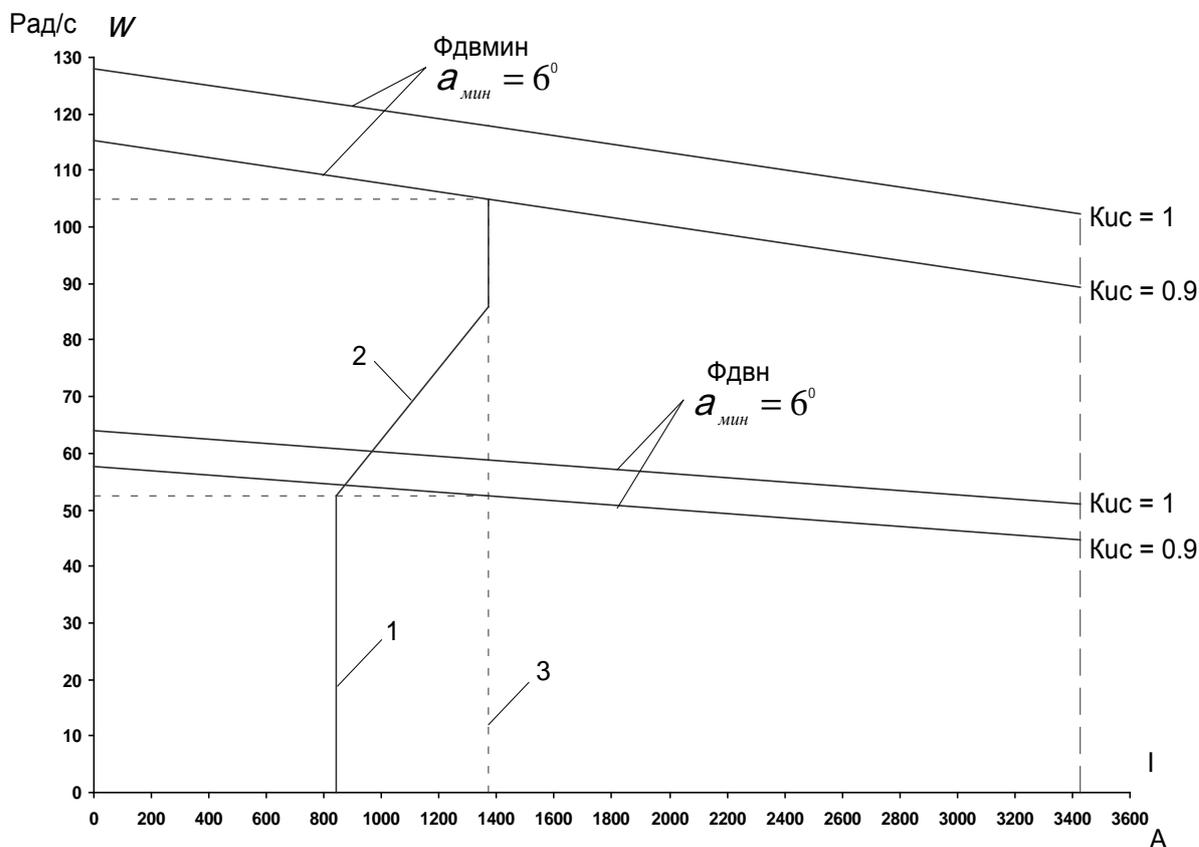


Рисунок 16 - Область допустимой работы электропривода насоса

Преобразователь электропривода насоса нереверсивный, поэтому в инверторном режиме он может обеспечить работу привода в 4 квадранте, при активной нагрузке на валу двигателя. Нагрузка механизма насоса реактивная по характеру, поэтому работа привода возможна только в 1 квадранте.

На рисунке 16 в области работы электропривода нанесена предельная характеристика 1-2-3, учитывающая допустимые нагрузки механизма насоса (см. рисунок 6 и 7). Характеристика 1-2-3 полностью располагается в области допустимой работы электропривода, что гарантирует возможность привода обеспечить требуемые предельные нагрузки механизма насоса.

Скорость вращения вала электродвигателя:

$$\omega = \frac{E_d - I_d \times R_{яц} - DU_{\epsilon}}{c},$$

где: $E_d = E_{d0} \times \cos(\alpha)$ – среднее значение выпрямленной ЭДС в режиме непрерывного тока;

α – угол включения тиристора, отсчитываемый от точки естественной коммутации;

DU_{ϵ} – прямое падение напряжение на тиристоре.

Для получения соответствующей скорости вращения вала двигателя произведем ряд преобразований и получим выражение для нахождения угла управления в функции скорости:

$$\alpha(\omega) = \arccos \frac{\omega \times c + I_d \times R_{яц} + DU_{\epsilon}}{E_{d0}}$$

Для построение электромеханических характеристик в зоне непрерывного тока воспользуемся итоговым выражением:

$$\omega(I) = \frac{E_{d0} \times \cos(\alpha(\omega)) - I \times R_{яц} - DU_{\epsilon}}{c}.$$

Характеристики имеют линейный характер. Однако в действительности в области малых нагрузок появляется зона прерывистых токов, она тем больше, чем больше угол α . Появление зоны прерывистого токов обусловлено тем, что в определенные промежутки времени мгновенное значение выпрямленного напряжения преобразователя становится меньше встречно действующей ЭДС двигателя, и, как следует из уравнения равновесия ЭДС становится отрицательной. Ток должен изменить направление на противоположное. Но поскольку вентили обладают односторонней проводимостью, ток становится равным нулю. При больших нагрузках несмотря на то, что в определенные промежутки времени мгновенное значение напряжения становится меньше ЭДС двигателя, ток не прерывается, является непрерывным. Объясняется это тем, что при больших нагрузках запас электромагнитной энергии в цепи выпрямленного тока значительный. Переходу от режима непрерывного тока к

прерывистому соответствует режим начально-непрерывного тока, являющегося граничным. Величина граничного тока зависит от угла α и параметров схемы.

Проведем расчет и построение характеристик в зоне прерывистых токов. Для этого найдем угол открывания, измеренный от начала положительной полуволны синусоиды фазной ЭДС:

$$q_0(\alpha) = \frac{180}{\rho} \times \frac{\alpha}{\pi} a(\omega) + \frac{\alpha \rho}{\pi^2} + \frac{\rho}{m_s} \frac{\ddot{u}}{\omega}$$

Значение ЭДС в относительных единицах в зависимости от угла управления α в зоне прерывистых токов:

$$e(\alpha) = \cos \frac{\alpha}{\pi} q \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{u}}{\omega} \times \frac{\sin \frac{\alpha}{\pi} (q_0(\alpha) - q) \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{u}}{\omega} - \sin \frac{\alpha}{\pi} (q_0(\alpha) + l - q) \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{u}}{\omega} e^{l \times \frac{\rho}{180} \times \cot \frac{\alpha}{\pi} \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{u}}{\omega}}}{1 - e^{l \times \frac{\rho}{180} \times \cot \frac{\alpha}{\pi} \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{u}}{\omega}}}$$

где угол $l = \frac{2 \times 180}{m_s} = 60$ град – угол проводимости тиристорov;

угол θ – угол отставания тока в якоре от напряжения. Он обусловлен присутствием в цепи якоря индуктивности $L_{яц}$. Угол θ найдем по выражению:

$$q = \arctan \frac{\alpha \omega_0 \times L_{яц} \frac{\ddot{u}}{\omega} \times \frac{180}{\rho}}{R_{яц}}$$

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

$$i(\alpha) = \frac{m_s}{2 \times \rho} \frac{\alpha}{\pi} \cos \frac{\alpha}{\pi} q_0(\alpha) \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{u}}{\omega} - \cos \frac{\alpha}{\pi} (l + q_0(\alpha)) \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{u}}{\omega} - l \times \frac{\rho}{180} \times e_{cp}(\alpha) \frac{\ddot{u}}{\omega}$$

Характеристики режима прерывистого тока можно построить в абсолютных единицах $w = f(I)$ по следующим выражениям:

$$w(\alpha) = e(\alpha) \frac{\sqrt{2} \times U_n \times \cos \frac{\alpha}{\pi} q_0(\alpha) \times \frac{\rho}{180} - \frac{\rho}{2} \frac{\ddot{u}}{\omega} \cdot DU_s}{c},$$

2.14 Структурная схема силового канала электропривода насоса

Структурная схема силового канала электропривода приведена на рисунке 18. Параметры элементов силового канала сведены в таблицу 3.

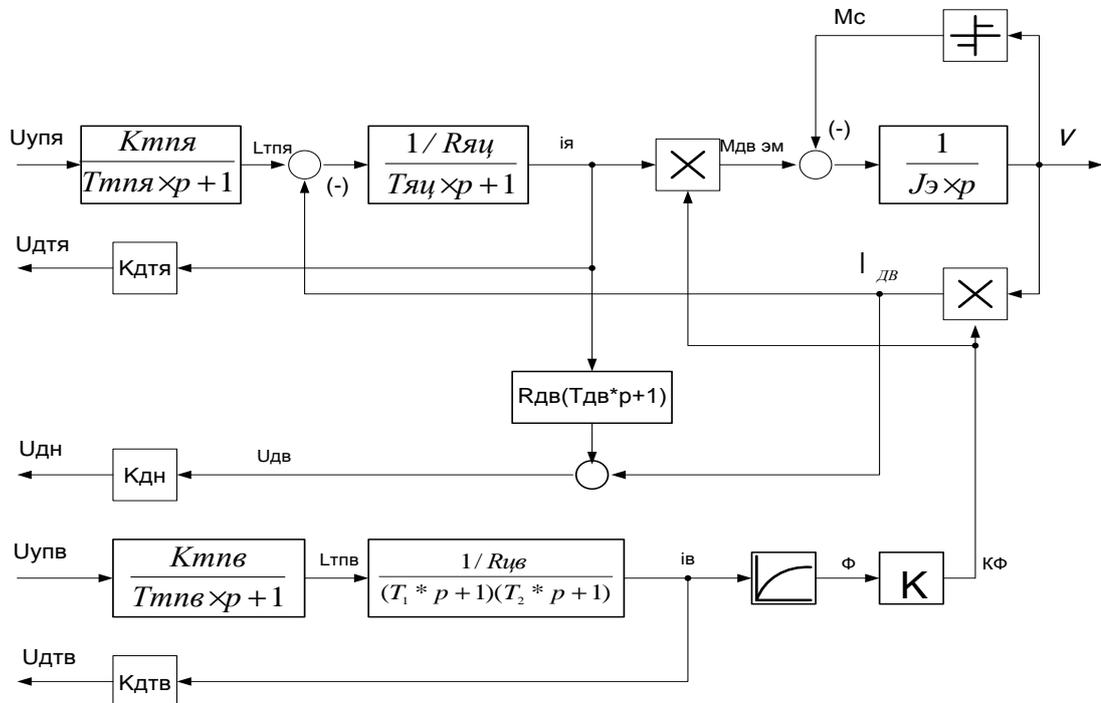


Рисунок 18 - Структурная схема силового канала электропривода

Коэффициент передачи датчика тока якоря

$$K_{дтя} = \frac{U_{дтя\max}}{I_{я\max}} = \frac{10}{1600} = 0,00625 \text{ В/А.}$$

Коэффициент передачи датчика напряжения двигателя

$$K_{дн} = \frac{U_{дн\max}}{U_{\max}} = \frac{10}{500} = 0,02.$$

Коэффициент передачи датчика тока преобразователя возбуждения

$$K_{дтв} = \frac{U_{дтв\max}}{I_{в\max}} = \frac{10}{30} = 0,333 \text{ В/А.}$$

Эквивалентная индуктивность цепи обмотки возбуждения

$$L_{цвэ} = T_1 \cdot R_{цв} = 0,7978 \cdot 7,865 = 6,275 \text{ Гн.}$$

Таблица 3 – Параметры элементов силового канала электропривода насоса

$K_{\text{ТПЯ}}$	$T_{\text{ТПЯ}},$ с	$R_{\text{яц}},$ Ом	$L_{\text{яц}},$ Гн	$R_{\text{дв гор}},$ Ом
98,412	0,00167	0,02986	0,000524	0,0166
$L_{\text{дв}},$ Гн	$T_{\text{яц}},$ с	С	$J_{\text{э}},$ кг•м ²	$K_{\text{дтг}},$ В/А
0,00046	0,0175	7,97	50	0,00625
$K_{\text{дн}}$	$K_{\text{ТПВ}}$	$T_{\text{ТПВ}},$ С	$R_{\text{цв}},$ Ом	$T_1,$ С
0,02	71,52	0,005	7,865	0,7978
$T_2,$ С	$L_{\text{цвэ}},$ Гн	К	$K_{\text{дтв}},$ В/А	$M_{\text{с}}$ Н•м
0,0007262	6,275	126,7	0,333	1019,2

3 ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА

3.1 Функциональная схема электропривода бурового насоса

Функциональная схема электропривода насоса приведена на рисунке 19.
Основные функциональные устройства электропривода насоса:

- МР-электродвигатель насоса;
- ТП-тиристорный преобразователь;
- ОВ-обмотка возбуждения двигателя;
- СК-сельсинный командоаппарат;
- САР^{”ндв”}-система автоматического управления скоростью электропривода;
- САР^{”ив”}-система автоматического управления током возбуждения двигателя.

Устройства САР скорости электропривода расположены в базовом блоке регуляторов (БРБ) и включают в себя следующие функциональные узлы:

- ФЧВ-фазочувствительное выпрямительное устройство;
- ЗИ-задатчик интенсивности;
- УОС- устройство ограничения сигнала задания скорости;
- УОВ- узел ослабления тока возбуждения;
- РС- регулятор скорости;
- РТЯ- регулятор тока якоря;
- УОТ- узел ограничения тока якорной цепи;

В блоке возбуждения двигателя (БВД) находятся следующие функциональные узлы:

- РТВ- регулятор тока возбуждения;
- ДТВ- датчик тока возбуждения;
- ТПВ- тиристорный возбудитель двигателя, выполненный по нереверсивной однофазной мостовой схеме выпрямления.

Датчики тока якоря ДТЯ и напряжения ДН двигателя конструктивно расположены в других блоках.

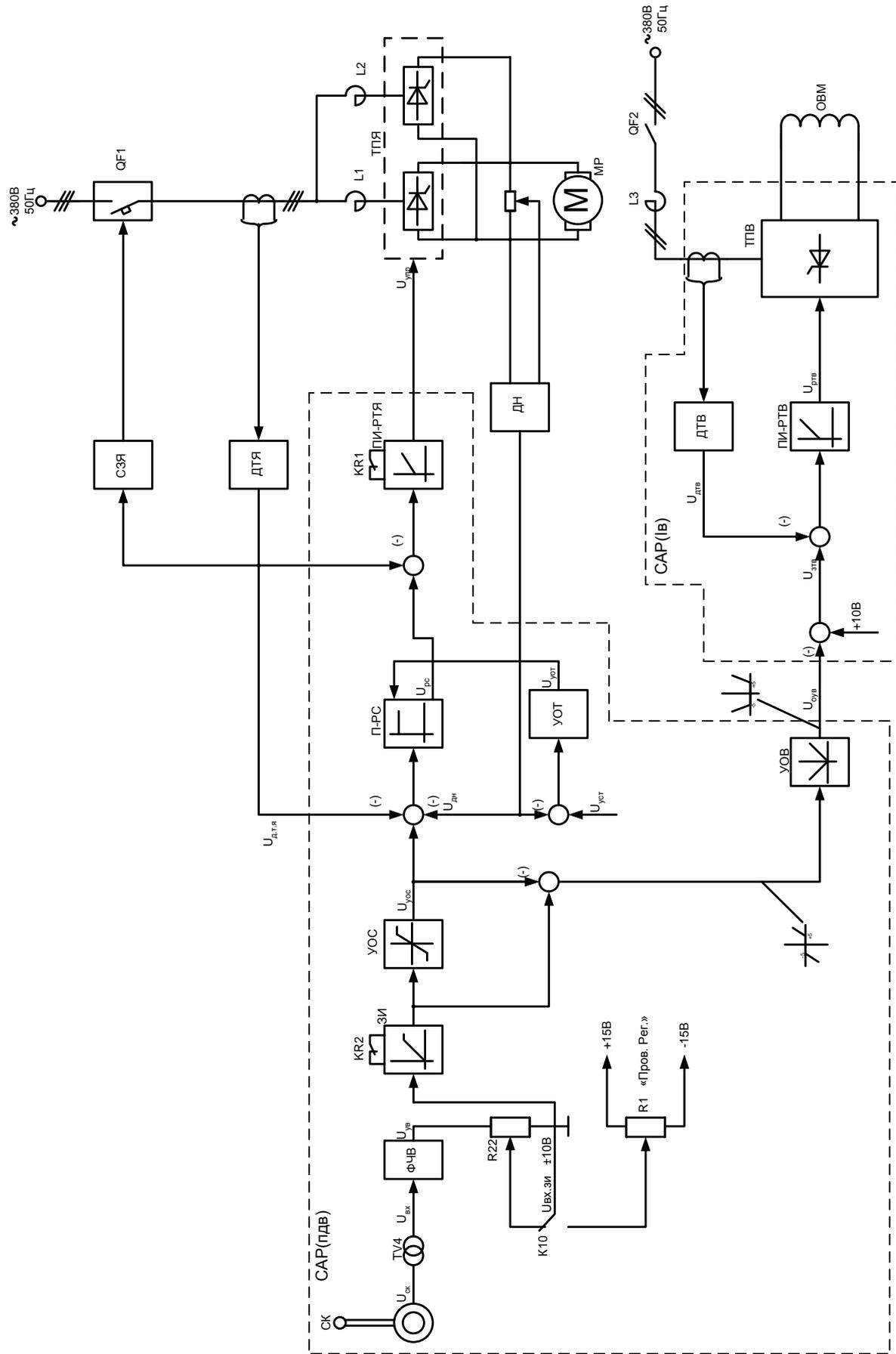


Рисунок 19 - Функциональная схема электропривода насоса

Электропривод бурового насоса выполнен по системе ТП-Д постоянного тока, предусматривает двухзонное регулирование скорости и состоит из неперверсивных систем управления напряжением якоря $U_{я}$ и управления током $I_{в}$ и потоком Φ возбуждения двигателя. На установке БУ 2900/200 применена схема с ручным управлением возбуждения двигателя.

Управление скоростью двигателя в первой зоне, при постоянном токе возбуждения осуществляется регулятором скорости РС и тока якоря РТЯ. В качестве обратной связи по скорости используется обратная связь по ЭДС двигателя, для чего на вход РС подаются сигналы обратной связи по напряжению (отрицательной) и току (положительной). Система действует как обычная двухконтурная система однозонного регулирования скорости двигателя.

Скорость вращения ротора задаётся сельсинным командоаппаратом СК с пульта бурильщика. Выходной сигнал сельсина через согласующий трансформатор, задатчик интенсивности ЗИ и узел ограничения скорости УОС поступает на вход регулятора скорости РС.

Входная цепь РС настраивается таким образом, что номинальное значение напряжения на якоре ($U_{дв}$, ЭДС двигателя $E_{дв}$ и скорость вращения $n_{дв}$) достигаются уже при среднем положении рукоятки СК, т.е. при сигнале задания скорости $U_{вх.зи}$ равном 5В.

Дальнейший рост сигнала $U_{вх.зи}$ приводит к увеличению скорости за счет уменьшения тока возбуждения. Управление скоростью двигателя в этой зоне осуществляется по каналу возбуждения с помощью регулятора тока возбуждения РТВ.

Принцип формирования сигнала задания скорости двигателя $U_{зс}$ и тока возбуждения $U_{зтв}$ показан на рисунке 20. Сигнал задания, поступающий с выхода ЗИ, усиливается с помощью УОС с коэффициентом 2 и ограничивается на уровне 10В, что соответствует максимальной скорости двигателя в 1 зоне (примерно номинальному напряжению двигателя $U_{дв н}$). УОВ представляет собой сумматор сигналов с выходов ЗИ и УОС, причём сигнал с последнего

суммируется с коэффициентом 0,5. Сигнал задания тока возбуждения $U_{зтв}$ на входе РТВ формируется как разность постоянного сигнала задания $U_{зтвном}$, соответствующего номинальному току возбуждения $I_{вн}$, и сигнала с УОВ. На второй вход РТВ подается сигнал отрицательной обратной связи по току возбуждения.

Система управления током возбуждения действует следующим образом. В первой зоне сигнал на выходе РТВ остается постоянным и соответствующим номинальному току возбуждения. При изменении сигнала задания скорости $U_{вх зи}$ в диапазоне от 0 до 5В регулирование скорости происходит за счет увеличения напряжения двигателя $U_{дв}$ в диапазоне от 0 до номинального значения $U_{дв н}$. При этом сигнал на выходе УОВ равен 0.

Увеличение сигнала $U_{вх зи}$ от 5 до 10 В приводит к изменению на выходе УОВ напряжения в диапазоне от 0 до 5В, что приводит к уменьшению напряжения задания тока возбуждения $U_{зтв}$. После его поступления на вход РТВ это приводит к снижению тока возбуждения и к соответствующему увеличению скорости двигателя во второй зоне регулирования.

Таким образом, управление как напряжением якоря, так и возбуждением выполняется от одного органа управления - СК. Рассмотренная схема обеспечивает приблизительно линейную зависимость скорости двигателя от $U_{вх зи}$ в диапазоне от 0 до максимальной величины при ослабленном поле двигателя (рисунок 21).

Ограничение максимально допустимого тока двигателя достигается ограничением выходного напряжения регулятора скорости на уровне

$$U_{рс доп} = K_t \cdot I_{эп макс}$$

В электроприводе насоса дополнительно может быть реализовано токоограничение в соответствии с выражением

$$U_{рс доп} (U_{дв}) = K_t \cdot I_{эп макс} (I_{дв}).$$

Требуемую зависимость $I_{эп макс} (I_{дв})$ формирует устройство ограничения тока УОТ в функции напряжения на двигателе (рисунок 21, характеристика 2).

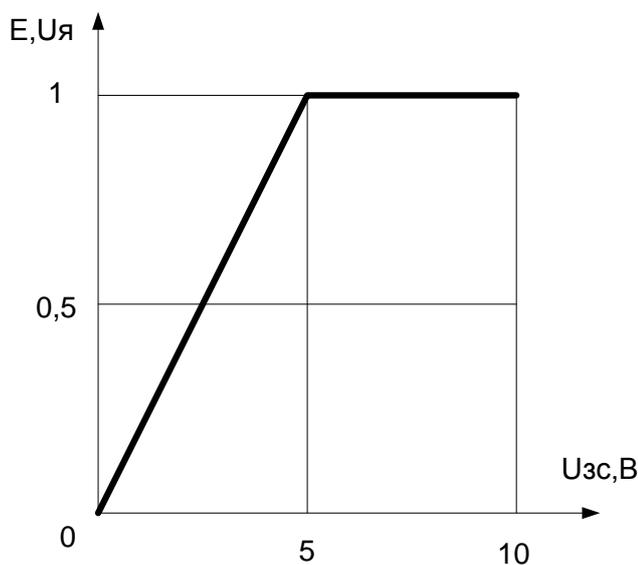
Настройка контура тока осуществляется из условия обеспечения максимально допустимого тока $I_{\text{эп макс}} = 2700 \text{ А}$ при $U_{\text{зт макс}} = U_{\text{рс макс}} = 10 \text{ В}$.

Настройка контура скорости осуществляется из условия обеспечения скорости двигателя $n_{\text{двн}} = (500, 520) \text{ об/мин}$, напряжения на двигателе

$$U_{\text{двн}} = (440, 460) \text{ В при } U_{\text{вх зи}} = 5 \text{ В } (U_{\text{зс}} = U_{\text{уос}} = 10 \text{ В}).$$

Контур регулирования тока возбуждения настраивается таким образом, чтобы номинальный ток возбуждения $I_{\text{вн}} = 22 \text{ А}$, достигался при $U_{\text{зтв}} = 10 \text{ В}$.

Коэффициенты входной цепи РТВ для цепи от УОВ подбираются таким образом, чтобы при $U_{\text{вх зи}} = 10 \text{ В}$ минимальный ток возбуждения двигателя был бы равен $I_{\text{в мин}} \approx 7,5 \text{ А}$. Скорость двигателя при этом должна иметь значение $n_{\text{дв макс}} \approx 1000 \text{ об/мин}$, а напряжение на двигателе $U_{\text{дв}} = 440, 460 \text{ В}$. Темп разгона приводного двигателя насоса должен быть ограничен. Время пуска до максимальной скорости $n_{\text{дв макс}}$ не должно быть менее 4с.



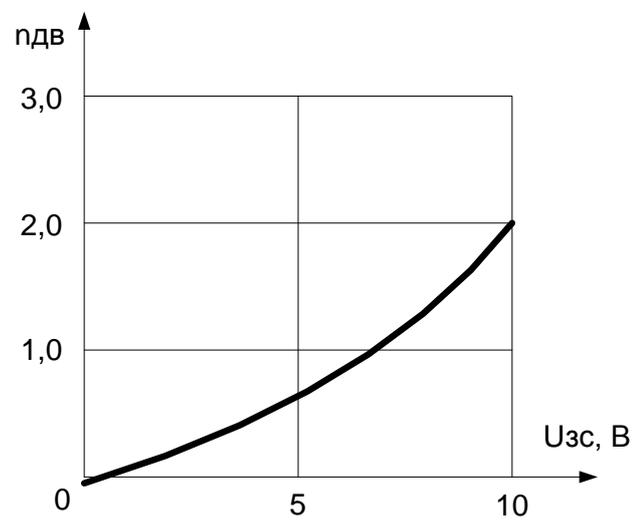
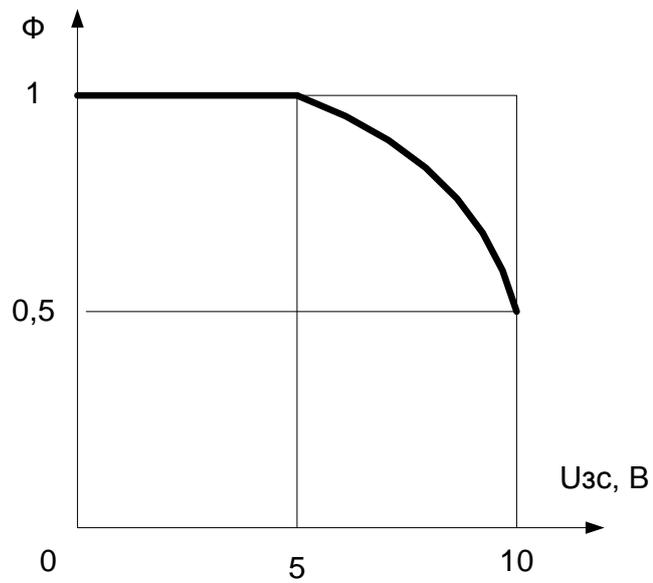
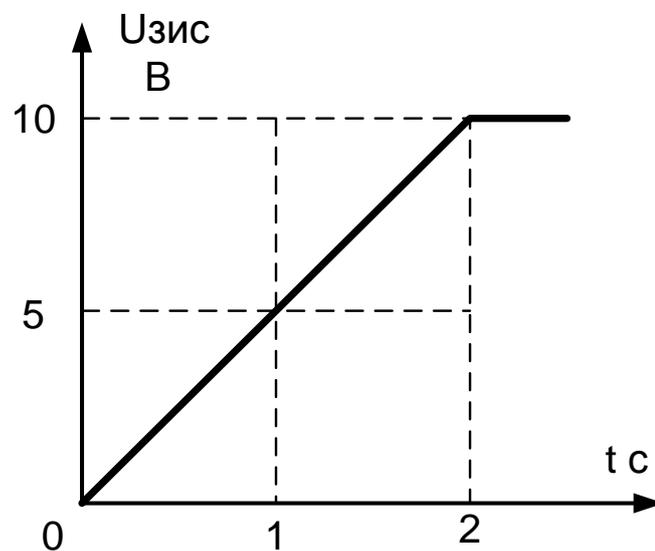


Рисунок 20 - Характеристики системы двухзонного регулирования с ручным управлением возбуждением



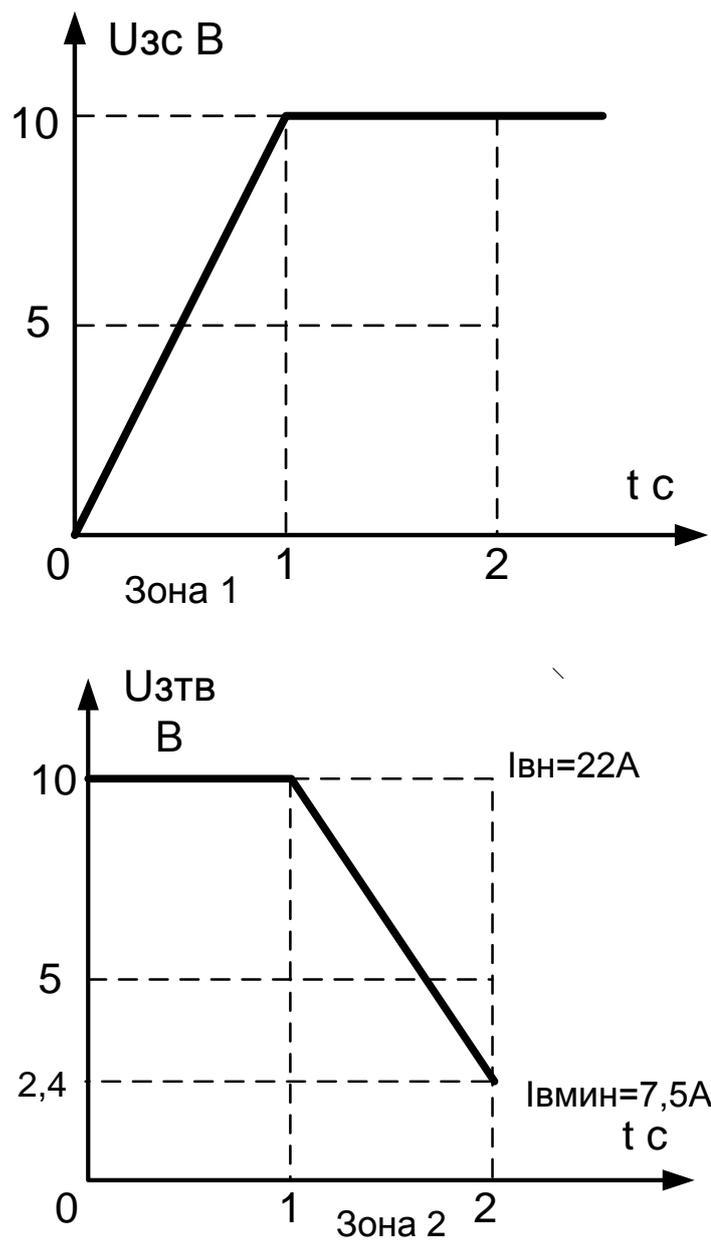


Рисунок 21 - Характеристики сигналов управления скоростью и потоком двигателя

3.2 Структурная схема САР скорости электропривода насоса

Структурная схема линеаризованной САР скорости электропривода насоса приведена на рисунке 22.

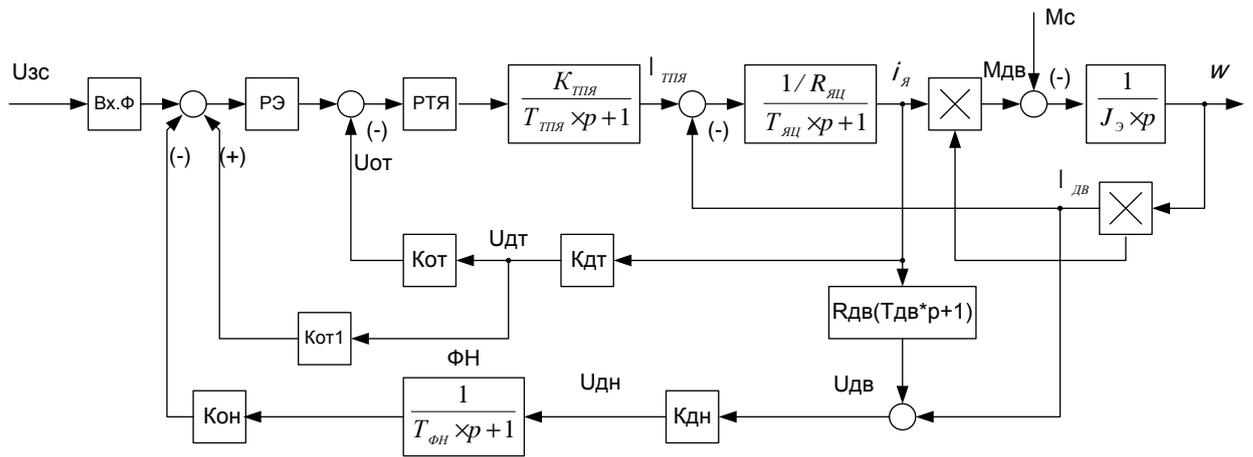


Рисунок 22 - Структурная схема САУ скорости электродвигателя привода насоса

На схеме приняты следующие обозначения:

Вх.Ф – входной фильтр;

РЭ – регулятор ЭДС;

РТЯ – регулятор тока якорной цепи;

ФН – сглаживающий фильтр в цепи обратной связи по напряжению;

Кот, Кон – коэффициенты передачи входных цепей регуляторов.

САУ электропривода насоса реализована как двухконтурная с внутренним контуром тока и внешним контуром ЭДС двигателя. Формирование сигнала обратной связи по ЭДС двигателя осуществляется суммированием входных сигналов, пропорциональных напряжению двигателя и падению напряжения в якорной цепи (току якорной цепи). Суммирование сигналов производится непосредственно на входе регулятора ЭДС, на вход которого подаётся две обратных связи: отрицательная обратная связь по напряжению двигателя и положительная обратная связь по току якорной цепи.

Входной фильтр Вх.ф на входе контура ЭДС и фильтр в цепи обратной связи по напряжению могут быть установлены при необходимости.

Оптимизация САУ скорости электропривода сводится к определению типа регуляторов, определения параметров регуляторов и цепей обратных связей,

обеспечивающих технически оптимальные переходные процессы.

Оптимизация проводится в два этапа:

- первый этап аналитический для линеаризованной системы регулирования;
- второй этап метод имитационного моделирования с учетом влияния ЭДС двигателя основных нелинейностей электропривода.

3.3 Оптимизация контура тока

Оптимизацию контура тока осуществляем без учета отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя, что соответствует режиму работы с заторможенным двигателем. Структурная схема приведена на рисунке 23, где пунктирной линией показана неучтенная обратная связь по ЭДС двигателя.

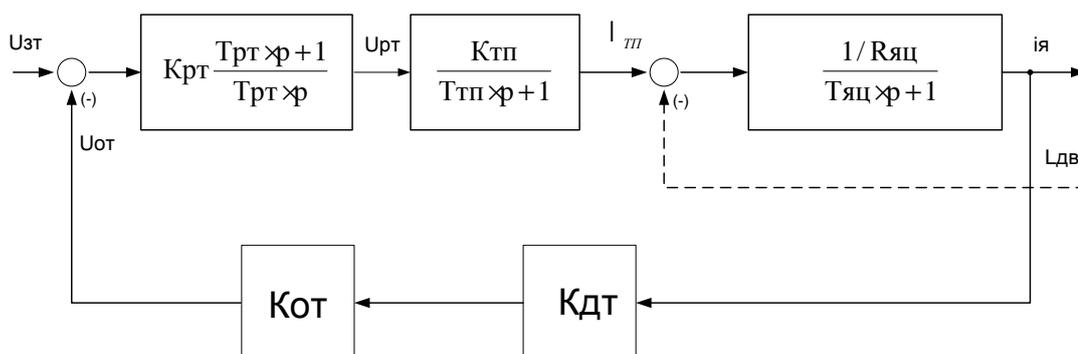


Рисунок 23 - Структурная схема контура тока

Контур содержит два инерционных звена первого порядка с постоянными времени

$$T_{яц} = 17,5 \cdot 10^{-3} \text{ с} \text{ и } T_{тп} = 0,00167 \text{ с}. \text{ Отношение } T_{яц}/T_{тп} = \frac{17,5 \times 10^{-3}}{1,67 \times 10^{-3}} = 10,47$$

значительно больше единицы, следовательно принимаем:

$$- T_{\mu T} = T_{тп} = 0,00167 \text{ с} \text{ – малая постоянная времени контура;}$$

- $T_{яц} = 0,0175 \text{ с}$ - большая постоянная контура, которую следует компенсировать.

Контур тока настраиваем на модульный оптимум (МО). С учетом параметров контура выбираем ПИ- регулятор с передаточной функцией

$$W(p)_{PT} = K_{PT} \times \frac{T_{PT} \times p + 11}{T_{PT} \times p},$$

где $T_{PT} = T_{яц} = 0,0175$ с - постоянная времени регулятора.

$$K_{PT} = \frac{R_{яц} \times T_{яц}}{K_{ТП} \times K_T \times a_T \times T_{\mu m}} = \frac{0,0175 \times 0,02986}{101,99 \times 0,0625 \times 2 \times 0,00167} = 0,24544$$

- коэффициент усиления регулятора

$$\text{где } K_{mn} = \frac{\rho \times E_{d0}}{U_{упмакс}} \times \frac{a_{нач} - a_{мин}}{10} = \frac{3,14 \times 512,6}{10} \times \frac{120 - 6}{10} = 101,99 -$$

коэффициент усиления тиристорного преобразователя,

$$K_T = \frac{U_{зтмакс}}{I_{эпмакс}} = \frac{10}{1600} = 0,00625 \text{ В/А} - \text{коэффициент обратной связи по току,}$$

$a_T = 2$ - коэффициент оптимизации контура тока по МО.

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТ

$$K_{OT} = \frac{K_T}{K_{дТ}} = \frac{0,00625}{0,00625} = 1.$$

Влияние ЭДС двигателя на работу контура тока оценивается отношением постоянных времени

$$\frac{T_M}{T_{яц}} = \frac{23,50 \times 10^{-3}}{17,5 \times 10^{-3}} = 1,3428.$$

Передаточная функция разомкнутого контура тока

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{Траз}} &= \frac{1}{a_T \times T_{\mu m} \times p(T_{\mu m} \times p + 1)} = \frac{1}{2 \times 0,00167^2 \times p^2 + 2 \times 0,00167 \times p} = \\ &= \frac{1}{5,57 \times 10^{-6} \times p^2 + 0,00334 \times p}. \end{aligned}$$

Передаточная функция замкнутого контура тока

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{Траз}} &= \frac{1/K_T}{a_T \times T_{\mu m} \times p(T_{\mu m} \times p + 1) + 1} = \frac{1/K_T}{a_T \times T_{\mu m}^2 \times p^2 + a_T T_{\mu m} \times p + 1} = \\ &= \frac{160}{5,57 \times 10^{-6} \times p^2 + 0,0034 p + 1}. \end{aligned}$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура тока:

$\delta = 4,3\%$ - перерегулирование,

$t_{пу1}^{(5)} = 4,1 \times T_{\mu m} = 4,1 \times 0,00167 = 0,006847$ - время первого согласования, с;

$t_{пу2}^{(5)} = 4,1 \times T_{\mu m} = 4,1 \times 0,00167 = 0,006847$ - время переходного процесса

при обработке ступенчатого управляющего задания, с;

$\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{\Phi} = 0,71 / T_{\mu m} = 0,71 / 0,00167 = 425,15$ рад/с – полоса

пропускания по модулю и фазе или

$$f_{\Pi} = \frac{\omega_{\Pi}}{2\rho} = \frac{425,15}{2 \times 3,14} = 67,7 \text{ Гц.}$$

$Dl_{уст} = 0$ - установившаяся ошибка отработки входного воздействия.

3.4 Оптимизация контура ЭДС двигателя

Структурная схема контура ЭДС приведена на рисунке 24.

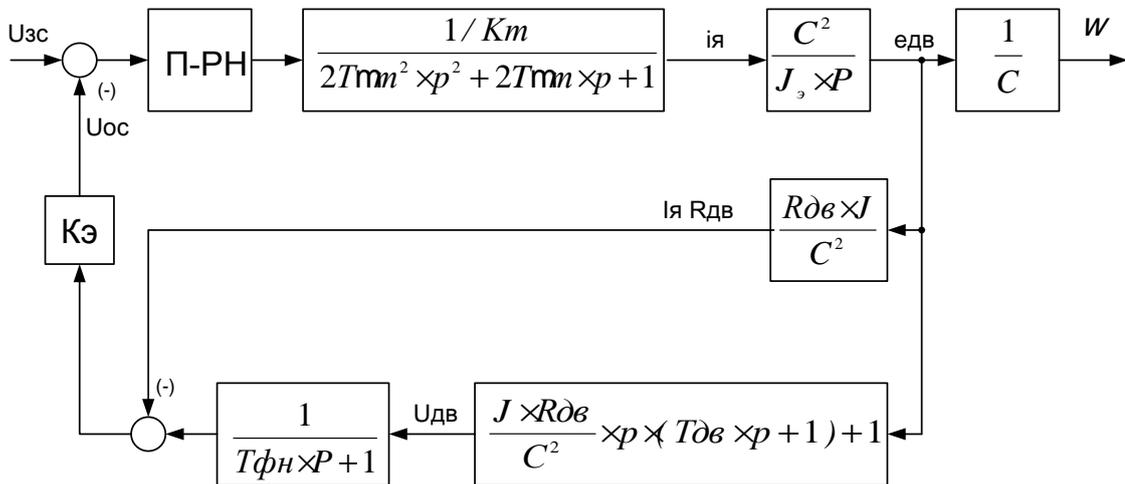


Рисунок 24 - Структурная схема контура ЭДС

Контур имеет два варианта реализации: с сглаживающим фильтром в цепи обратной связи по напряжению (с постоянной времени фильтра $T_{фн}$) и без фильтра. Оптимизация контура по МО достигается при выборе пропорционального регулятора ЭДС (П – РЭ) с коэффициентом усиления

$$K_{p\varepsilon} = \frac{J \times K_m}{K_{oc} \times C^2 \times T_{o\varepsilon}},$$

где
$$K_{\varepsilon} = \frac{U_{3\text{макс}}}{E_{\text{двн}}} = \frac{10}{417,3} = 0,024$$

- коэффициент обратной связи по ЭДС двигателя;

$$E_{\text{двн}} = C \times \omega_{\text{двн}} = 7,97 \times 52,36 = 419,8 \text{ В}$$

- номинальное значение ЭДС двигателя;

T_{ε} - эквивалентная постоянная времени контура, с.

Вариант $T_{\text{фн}}=0$

$$T_{\varepsilon} = 2 \times T_{m\varepsilon} = 2 \times 0,015225 = 0,03045 \text{ с},$$

где
$$T_{m\varepsilon} = T_{mm} + \frac{1}{2} \times \sqrt{4 \times T_{mm}^2 + 2 \times T_{\text{дв}} \times \frac{J_{\varepsilon} \times R_{\text{двгор}}}{C^2}} =$$

$$= 0,00167 + \frac{1}{2} \times \sqrt{4 \times 0,00167^2 + 2 \times 0,0277 \times \frac{50 \times 0,0166}{7,97^2}} = 0,015225 \text{ с},$$

тогда
$$K_{p\varepsilon} = \frac{J \times K_m}{K_{oc} \times C^2 \times T_{o\varepsilon}} = \frac{50 \times 0,00625}{0,024 \times 7,973^2 \times 0,03045} = 6,732.$$

Вариант $T_{\text{фн}}=T_{\text{дв}}=0,085 \text{ с}$.

$$T_{\varepsilon} = 2T_{m\varepsilon} + T_{\text{дв}} = 2 \times 0,08632 + 0,0277 = 0,2 \text{ с},$$

где
$$T_{m\varepsilon} = T_{mm} + 0,5 \sqrt{(2 \times T_{mm} + T_{\text{дв}})^2 + T_{\text{дв}}^2} =$$

$$= 0,00167 + 0,5 \sqrt{(2 \times 0,00167 + 0,0277)^2 + 0,0277^2} = 0,08632 \text{ с},$$

тогда
$$K_{p\varepsilon} = \frac{J \times K_m}{K_{o\varepsilon} \times C^2 \times T_{o\varepsilon}} = \frac{50 \times 0,00625}{0,024 \times 7,97^2 \times 0,2} = 1,24.$$

Для настройки контура принимаем вариант с большим значением $K_{p\varepsilon}=6,732$ при $T_{\text{фн}}=0$ с. В этом случае на входе контура ЭДС сглаживающий фильтр не устанавливается.

Определим отношение

$$\frac{T_{m\mathcal{D}}}{2 \times T_{mT}} = \frac{0,015225}{2 \times 0,00167} = 4,56.$$

При отношении >1 передаточная функция замкнутого контура, записанная для скорости вращения двигателя W как входной координаты, имеет вид

$$W(p)_{\text{сказам}} = \frac{W(p)}{U_{3c}(p)} = \frac{\frac{1}{K_{\mathcal{E}} \times C}}{2T_{m\mathcal{D}}^2 \times p^2 + 2 \times T_{m\mathcal{D}} \times p + 1} =$$

$$= \frac{1}{0,024 \times 7,97} = \frac{5,228}{2 \times 0,0152^2 \times p^2 + 2 \times 0,0152 p + 1} = \frac{5,228}{0,000462 p^2 + 0,0204 p + 1}.$$

Ожидаемые показатели работы контура:

$d=4,3\%$ - перерегулирование,

$t_{py1}^{(5)}=t_{py}^{(5)}=4,1 \cdot T_{m\mathcal{D}}=4,1 \cdot 0,0152 = 0,06232$ с – время первого вхождения

5% зону и время переходного процесса при отработке ступенчатого входного воздействия;

$$W_{\Pi}^{(\Phi)}=W_{\Pi}^{(M)}=\frac{1}{\sqrt{2} \times T_{m\mathcal{D}}} = \frac{1}{\sqrt{2} \times 0,0152} = 46,52 \text{ рад/с}$$

или $f_{\Pi}=\frac{W_{\Pi}}{2p} = \frac{46,52}{2 \times 3,14} = 7,53$ Гц – полоса пропускания по фазе и модулю;

$$D_{W_{B \text{ уст}}}=\frac{T_{\mathcal{E}} \times DM_C}{J_{\mathcal{E}}} = \frac{0,03045 \times 6641,2}{50} = 4,04 \text{ рад/с} - \text{установившееся}$$

значение провала или всплеска угловой скорости вращения двигателя при набросе или сбросе нагрузки $DM_C=M_{двн}=2984,72$ Н•м.

Коэффициенты передачи входных цепей регулятора ЭДС (см. рисунок):

$$K_{OH}=\frac{K_{\mathcal{E}}}{K_{OH}} = \frac{0,024}{0,02} = 1,2$$

- отрицательной обратной связи по напряжению;

$$K_{OTI}=R_{двгор} \frac{R_{OH}}{K_{дтя}} \times K_{OH} = 0,0166 \times \frac{0,02}{0,00333} \times 1,2 = 0,12$$

- положительной обратной связи по току.

С использованием прикладной программы Матлаб рассчитаны логарифмические частотные характеристики (ЛЧХ) контура (рисунок 25).

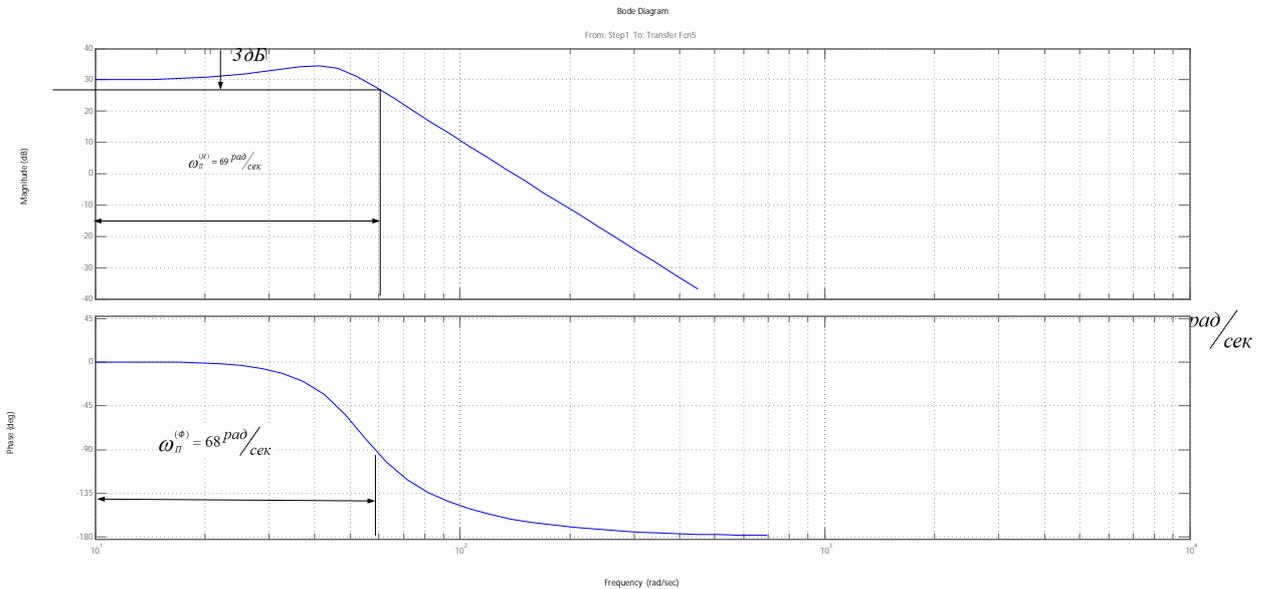


Рисунок 25 – ЛЧХ замкнутого контура ЭДС

По частотным характеристикам определили полосу пропускания контура по модулю и фазе

$$\omega_i^{(\dot{i})} = \omega_i^{(\hat{o})} = 10^{1,8} = 63,09 \text{ рад/с}$$

или

$$f_i^{(\dot{i})} = \omega_i^{(\hat{o})} = \frac{\omega_i}{2\pi} = \frac{63,09}{2 \times 3,14} = 10,04 \text{ Гц.}$$

Полученные результаты хорошо совпадают с ожидаемыми показателями.

3.5 Структурная схема САР потока возбуждения двигателя

Структурная схема САР потока возбуждения двигателя приведена на рисунке 26. На схеме приняты следующие обозначения:

РТВ – регулятор тока возбуждения двигателя;

Котв – коэффициент передачи входной цепи регулятора обратной связи регулятора тока;

Узтв – фактическое значение напряжения задания тока возбуждения.

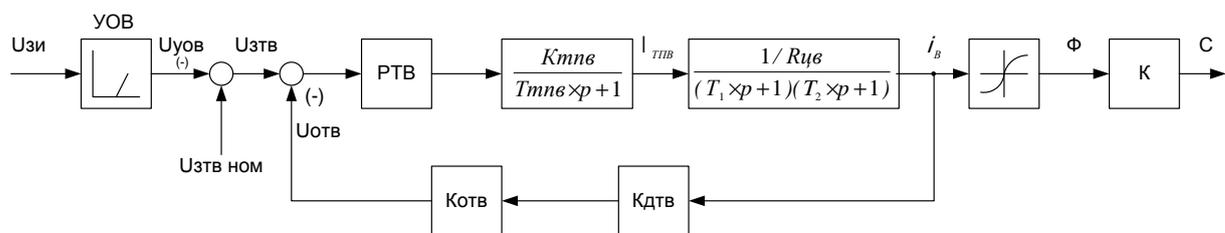


Рисунок 26 - Структурная схема САР потока возбуждения электродвигателя привода насоса

САР потока возбуждения двигателя представляет собой одноконтурную систему регулирования тока возбуждения. Задание на ток возбуждения на входе контура формируется в зависимости от положения сельсинного командоаппарата СК. Контур тока возбуждения стабилизирует ток возбуждения двигателя при колебаниях напряжения сети и ослабляет поток двигателя при $U_{зи} > 5В$.

3.6 Оптимизация контура тока возбуждения двигателя

Структурная схема контура тока возбуждения приведена на рисунке 27.

Контур содержит три инерционных звена первого порядка (апериодических) при следующих соотношениях постоянных времени

$$T_1 \gg (T_{ТПВ} + T_2).$$

Поэтому за малую постоянную времени примем $T_{\mu TT} = (T_{ТПВ} + T_2) = (0,00167 + 0,007262) = 0,008932 \text{ с.}$, $T_1 = 0,797837 \text{ с.}$ будем считать большой постоянной времени контура.

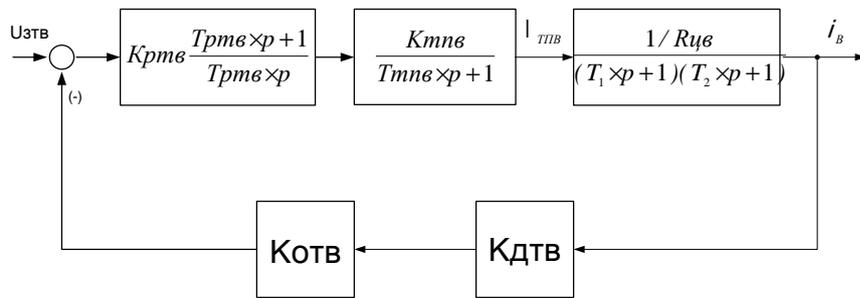


Рисунок 27 - Структурная схема контура тока возбуждения двигателя

Оптимизация контура по МО достигается при выборе ПИ- РТВ с передаточной функцией

$$W(p)_{\text{РТВ}} = K_{\text{РТВ}} \frac{T_{\text{РТВ}} \times p + 1}{T_{\text{РТВ}} \times p},$$

$$\text{где } K_{\text{РТВ}} = \frac{R_{\text{ЦВ}} \times T_1}{K_{\text{ТПВ}} \times K_{\text{ТВ}} \times a_{\text{ТВ}} \times T_{\text{МТВ}}} = \frac{7,865 \times 0,7978}{71,52 \times 0,4545 \times 2 \times 0,248} = 0,389$$

- коэффициент усиления регулятора;

$$T_{\text{РТВ}} = T_1 = 0,7978 \text{ с}$$

- постоянная времени регулятора;

$$K_{\text{ТВ}} = \frac{U_{\text{ЗТВмакс}}}{I_{\text{Вмакс}}} = \frac{10}{22} = 0,4545 \text{ В/А}$$

- коэффициент обратной связи по току возбуждения;

$a_{\text{ТВ}} = 2$ - коэффициент оптимизации контура по МО.

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТВ

$$K_{\text{ОТВ}} = \frac{K_{\text{ТВ}}}{K_{\text{ДТВ}}} = \frac{0,4545}{0,333} = 1,353.$$

Передаточная функция замкнутого контура тока возбуждения

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{ТВзам}} &= \frac{1 / K_{\text{ТВ}}}{a_{\text{ТВ}} \times T_{\text{МТВ}}^2 \times p^2 + a_{\text{ТВ}} \times T_{\text{МТВ}} \times p + 1} = \\ &= \frac{1 / 0,45}{2 \times 0,012262^2 \times p^2 + 2 \times 0,012262 \times p + 1} = \frac{2,222}{0,0003 \times p^2 + 0,0245 \times p + 1} \end{aligned}$$

Показатели качества работы контура:

$d = 4,3\%$ - перерегулирование;

$t^{(5)}_{py1} = t^{(5)}_{py2} = 4,1 \cdot T_{mTB} = 4,1 \cdot 0,012262 = 0,05$ с – время переходного процесса;

$$\omega^{(i)}_{\Pi} = \omega^{(i)} = \frac{1}{\sqrt{2} \times T_{mTB}} = \frac{1}{\sqrt{2} \times 0,012262} = 57,667 \text{ рад/с или}$$

$$f_{\Pi} = \frac{\omega_i}{2\pi} = \frac{57,667}{2 \times 3,14} = 9,18 \text{ Гц – полоса пропускания;}$$

$Dl_{\text{оно}} = 0$ - установившаяся ошибка отработки заданного значения тока возбуждения.

4 ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА

4.1 Структурная схема нелинейной САУ ЭП насоса

Основными нелинейностями САУ электропривода насоса являются:

- насыщение регуляторов ЭДС и тока

$$U_{PЭ \text{ МАКС}} = \pm 10\text{В}; U_{РТ \text{ МАКС}} = \pm 10\text{В};$$

- постоянное по величине ограничение тока двигателя в переходных режимах, которое достигается ограничением выходного напряжения регулятора напряжения на уровне

$$U_{РН \text{ ДОП}} = U_{ТО} = K_T \cdot I_{ЭП \text{ МАКС}} = 0,00625 \cdot 1600 = 10\text{В};$$

- насыщение тиристорного преобразователя, соответствующее минимальному углу управления $\alpha_{\text{МИН}} = 10^\circ$

$$E_{ТПЯ \text{ МАКС}} = E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\text{ИЭТ}} = 512,6 \cdot \cos 10^\circ = 504,8\text{В};$$

- насыщение тиристорного возбудителя

$$E_{ТПВ \text{ МАКС}} = \frac{E_{d0B}}{2} (1 + \cos \alpha_{\text{МИН}}) = \frac{342}{2} (1 + \cos 30^\circ) = 319 \text{ В};$$

- основным нелинейным элементом электропривода является неперевёрнутый тиристорный преобразователь, который имеет одностороннюю проводимость групп вентиля, дискретный характер управления, нелинейную регулировочную характеристику.

При моделировании дискретного тиристорного преобразователя должны быть введены следующие параметры:

$m_B = 6$ – число коммутаций в схеме за один период;

$e_{2m} = \sqrt{2} \times \overset{\circ}{A}_{2\text{Б}} = \sqrt{2} \times 380 = 537,4 \text{ В}$ – амплитуда питающего напряжения

преобразователя;

$K_{УО} = \frac{a_{НАЧ} - a_{МИН}}{180^\circ} = \frac{120^\circ - 10^\circ}{180^\circ} = 0,611$ - коэффициент управляющего органа

на входе СИФУ;

$a_{МИН} = 6^\circ$ - минимальный угол управления;

$a_{НАЧ} = 120^\circ$ - начальный угол управления;

$a_{МАКС} = 150^\circ$ - максимальный угол управление преобразователем;

- форма опорного напряжения линейная с амплитудой размаха напряжения $2U_{ОП МАКС} = 10 \text{ В}$.

Структурная схема нелинейной САУ электропривода насоса приведена на рисунке 23.

Расчетные и экспериментальные (отмеченные *) параметры звеньев структурной схемы электропривода приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Параметры нелинейной САУ электропривода механизма насоса

$U_{ЗС}$ В	$T_{ЗИС}$, с	$U_{ЗИС}$, В	$T_{Ф2,*}$ с	$K_{РЭ}$	$U_{РТМАКС}$ В	$U_{РНДОП}$ В	$K_{ДН}$
10	3 4	10	0,0366	6,732	± 10	10	0,02
$K_{ОП1}$	$K_{ОН}$	$T_{ФН,*}$ с	$T_{Н1,*}$ с	$T_{Н2,*}$ с	$K_{РТ}$	$T_{РТ}$, с	$U_{РТМАКС}$, В
0,12	1,2	0,0366	0,03	0,002	0,254	0,0175	± 10
$K_{ДТЯ}$, В/А	$K_{ОТ}$	$K_{ТПЯ}$	$T_{ТПЯ}$, с	$E_{ТПЯМАКС}$, В	$R_{ЯЦ}$, Ом	$T_{ЯЦ}$, с	$L_{ЯЦ}$, Гн
0,0033	1	98,4	0,00167	504,8	0,02983	0,0175	0,000524
$R_{ДВ}$, Ом	$T_{ДВ}$, с	$L_{ДВ}$, Гн	С	$J_{Э}$, Кг•м ²	$M_{С}$, Н•м	$M_{СПОЛ}$, Н•м	

0,01255	0,0366	0,00046	7,97	46 , 50	1019,2	5250,9	
$U_{ЗТВН},$ В	$K_{РТВ}$	$T_{РТВ},$ В	$K_{ТПВ}$	$T_{ТПВ},$ с	$E_{ТПВмакс},$ В	$R_{ЦВ},$ Ом	$T_{В},$ с
10	0,4545	0,7978	71,5	0,005	319	7,865	0,651
E_{d0} В	$K_{ДТВ}$	$K_{ОТВ}$	К				
512,6	0,333	1,538	126,7				

Параметры нереверсивного дискретного тиристорного преобразователя якоря.

Таблица 5 - Параметры нереверсивного дискретного ТПЯ

$K_{ТПЯ}$	$m_{В}$	$e_{2m},$ В	СИФУ	$K_{УО}$	$2U_{ОПмакс}$	$a_{i\hat{e}i},$ град
98,4	6	537	ЛИН	0,611	10	6
$a_{i\hat{a}\hat{e}i},$ град	$a_{i\hat{a}x},$ град	$j_{i\hat{a}x},$ град	АУТП	ПОС	$U_{РЭДОП},$ В	
150	120	150	нет	Нет	10	

4.2 Настройка САУ электропривода на имитационной модели

Для обеспечения работоспособности контура ЭДС с учетом пульсации выпрямленного напряжения тиристорного преобразователя в цепи обратной связи по напряжению установлен сглаживающий фильтр с постоянной времени $T_{ФН} = T_{ДВ} = 0,0366$ с. Для оптимизации переходных процессов в электроприводе при обработке управляющих воздействий на входе электропривода установлен сглаживающий фильтр с постоянной времени $T_{Ф2} = T_{ФН} = 0,0366$ с.

С целью увеличения диапазона регулирования скорости электропривода увеличен коэффициент усиления регулятора ЭДС. Для этого в цепь обратной связи по напряжению введена производная по напряжению двигателя.

Реализуется это установкой интегродифференцирующего звена с передаточной функцией

$$W(p)_{\text{ФН}} = \frac{T_{H1} \times p + 1}{T_{H2} \times p + 1}.$$

Экспериментально подобраны следующие значения параметров:

$T_{H1} = 0,03\text{с}$, $T_{H2} = 0,02\text{с}$, $K_{РЭ} = 6, 8$.

На входе электропривода установлен задатчик скорости ЗИС, обеспечивающий постоянный темп разгона и торможения при остановке электропривода. Постоянная времени ЗИС по технологии $T_{\text{ЗИС}}^3 = 4\text{с}$.

4.3 Исследование САУ электропривода на имитационной модели

Цель исследований – проверка работоспособности электропривода во всех основных технологических режимах работы.

Исследования сводились к проверке работы САУ электропривода в следующих режимах:

- пуск привода при разных значениях управления и нагрузки;
- наброс нагрузки вплоть до режима стопорения;
- внезапного стопорения;
- торможение электропривода до меньшей скорости, до полной

остановки.

Результаты исследований на имитационной модели приведены на рисунках 28 , 30. Обработка переходных процессов показала, что САУ электропривода полностью отвечает предъявленным требованиям.

Переходные процессы практически всегда имеют апериодический характер (перерегулирование $\delta = 3\%$). Время переходного процесса полностью определяется постоянной задатчика интенсивности.

Торможение электропривода под нагрузкой – управляемое (см. рис. 31)

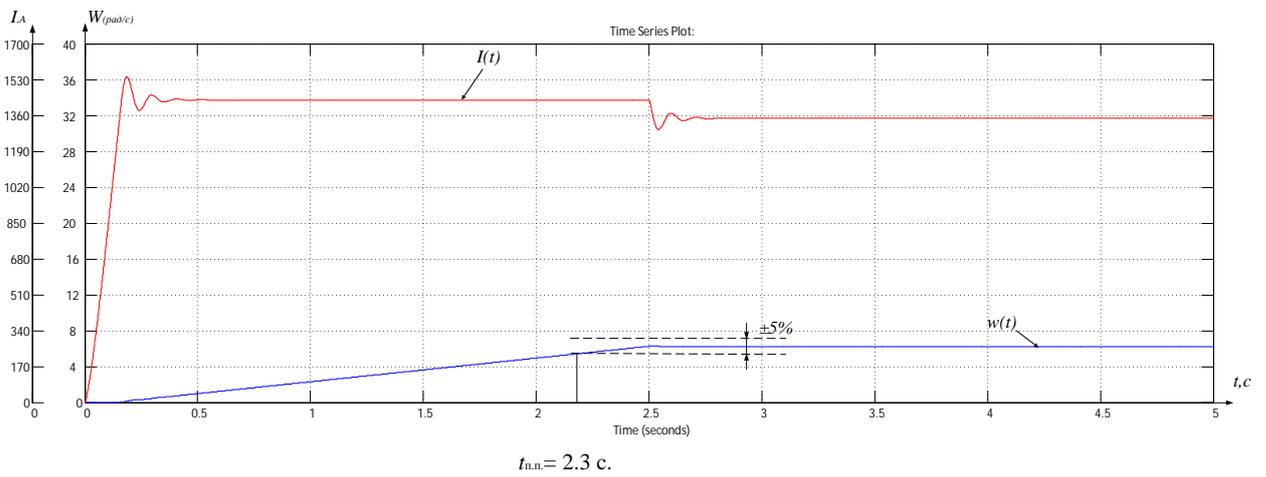


Рисунок 28 – Пуск электропривода при $U_{зс} = 1 \text{ В}$ и $M_c = 6270 \text{ Н}\cdot\text{м}$

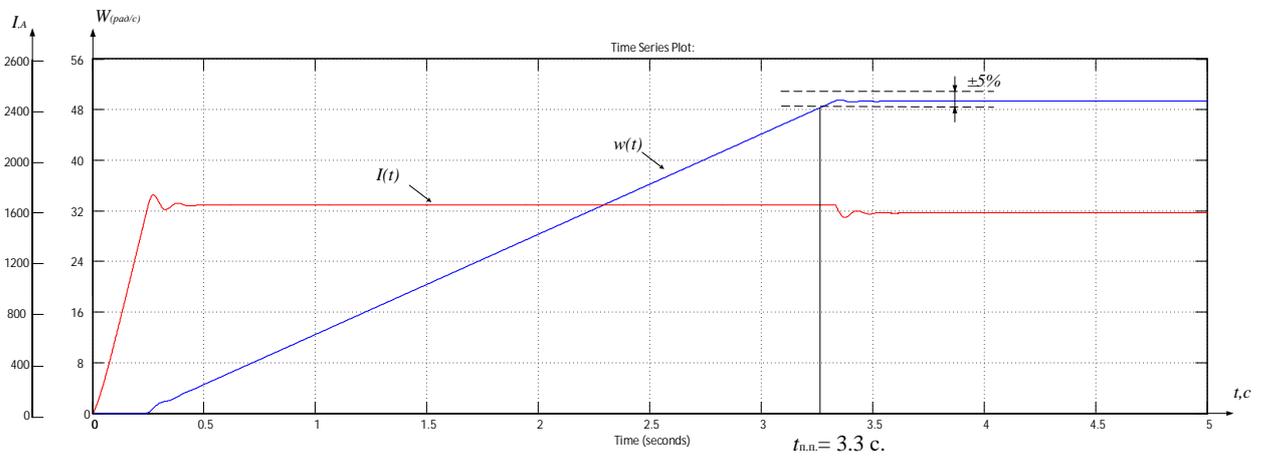


Рисунок 29 – Пуск электропривода при $U_{зс} = 10 \text{ В}$ и $M_c = 6270 \text{ Н}\cdot\text{м}$

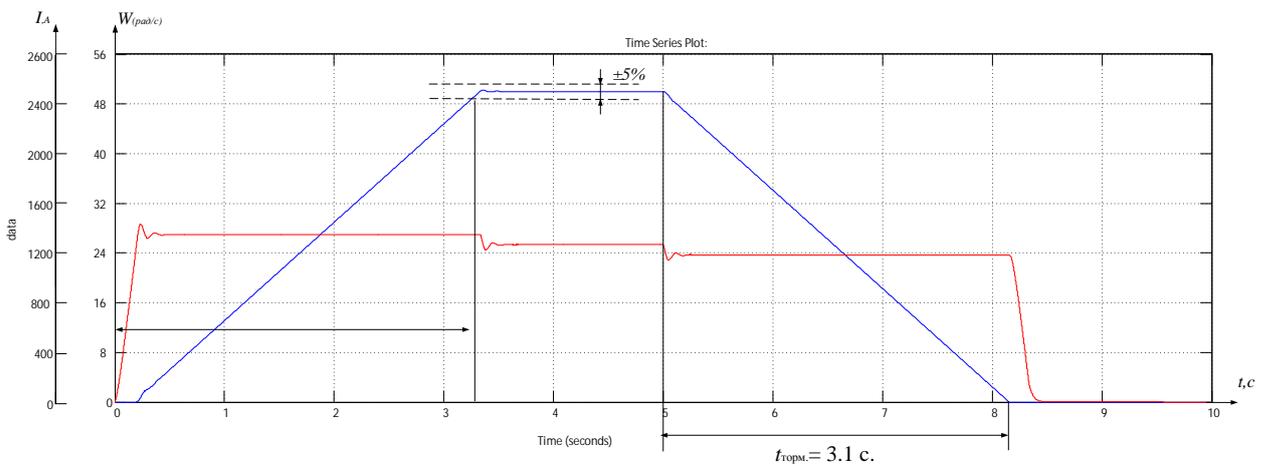


Рисунок 30 – Пуск и торможение электропривода при $U_{зс} = 10 \text{ В}$ и $M_c = 6270 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Схема рисунка 32 описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned}U_{PЭ} &= K_{PЭ}(U_{3C} - U_{OЭ}); \\U_{OЭ} &= K_{Э} \times E_{ДВ}; \\U_{РТ} &= K_{OУ.РТ} \times (U_{PЭ} - K_{Т} \times I); \\E_{ТП} &= K_{ТП} \times U_{РТ}; \\E_{ДВ} &= E_{ТП} - R_{ЯЦ} \times I; \\w &= \frac{E_{ДВ}}{k \times \Phi},\end{aligned}$$

где $k_{OУРТ} = 1 \times 10^4$ – коэффициент усиления операционного усилителя, на котором реализован ПИ – РТ.

Решив систему уравнений, относительно w найдём уравнение для статической (электромеханической) характеристики привода $w(I)$ в режиме стабилизации скорости

$$w(I) = \frac{K_{ТП} \times K_{OУ.РТ} \times K_{PЭ}}{1 + K_{ТП} \times K_{OУ.РТ} \times K_{PЭ} \times K_{Э}} \times \frac{U_{3C}}{k \times \Phi} - \frac{R_{ЯЦ} \times I}{k \times \Phi} \times \frac{1 + \frac{K_{ТП} \times K_{OУ.РТ} \times K_{Т}}{R_{ЯЦ}}}{1 + K_{ТП} \times K_{OУ.РТ} \times K_{PЭ} \times K_{Э}}.$$

Подставив численные значения получим при $\Phi_{двн}$

$$\begin{aligned}w(I) &= \frac{98,4 \times 10^4 \times 8}{1 + 98,4 \times 10^4 \times 8 \times 0,024} \times \frac{U_{3C}}{7,97} - \frac{0,02983 \times I}{7,97} \times \frac{1 + \frac{98,4 \times 10^4 \times 0,00625}{0,02983}}{1 + 98,4 \times 10^4 \times 8 \times 0,024} = \\&= w_0(U_{3C}) - Dw(I) = 52,28U_{3C} - 4,084 \times 10^{-3} I.\end{aligned}$$

Погрешность скорости электропривода при изменении нагрузки в % определяется по выражению

$$D_{н} = \frac{w_0(U_{3C}) - w(I_{ДВ.Н})}{w_0(U_{3C}) + w(I_{ДВ.Н})} \times 100\% = \frac{Dw(I_{ДВ.Н})}{w_0(U_{3C}) + w(I_{ДВ.Н})} \times 100\%$$

Задаваясь рядом значений тока I , по полученным выражениям рассчитываем статические характеристики привода $w(I)$ для нескольких значений U_{3C} . Расчёты сводим в таблицу 6.

Таблица 6 - Статические характеристики привода

$U_{3C}, В$	$w, рад/с$			$D_H, \%$
	$I = 0 А$	$I_{ДВ.Н} = 94 А$	$I_{ЭП.МАКС} = 187 А$	
10***	104,56	93,37	91,49	5,65
8**	83,648	74,696	73,209	5,65
5*	52,28	46,685	45,745	5,65
2,5*	26,14	20,545	19,605	12,0
1*	10,456	4,861	3,921	36,5

*- $\Phi_{двн} = 0,11 Вб$; **- $\Phi_{дв} = 0,06875 Вб$; ***- $\Phi_{дв мин} = 0,055 Вб$.

При увеличении нагрузки скорость двигателя уменьшается, и напряжение регулятора ЭДС увеличивается. Как только регулятор ЭДС входит в насыщение, отрицательная обратная связь по ЭДС отключается и переходит в режим стабилизации тока. Структурная схема электропривода для этого режима приведена на рисунке 37.

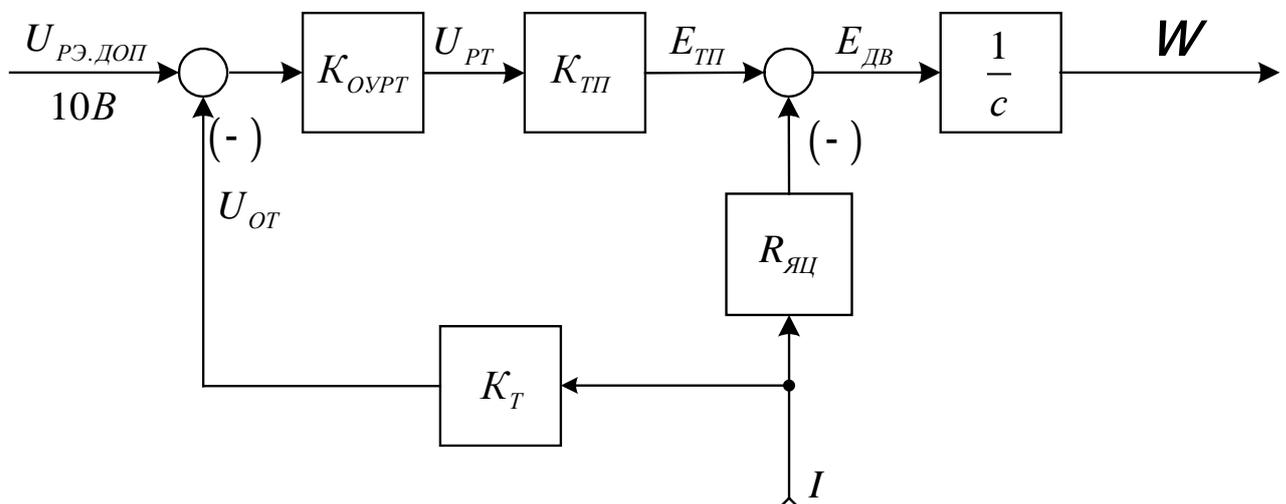


Рисунок 33 – Структурная схема электропривода для режима стабилизации тока

Схема рисунка 33 описывается следующей системой уравнений:

$$U_{РТ} = (U_{РЭ.ДОП} - U_{ОТ}) \times K_{ОУ.РТ};$$

$$U_{OT} = K_T \times I;$$

$$E_{ТП} = K_{ТП} \times U_{PT};$$

$$I = \frac{E_{ТП} - E_{ДВ}}{R_{ЯЦ}};$$

$$E_{ДВ} = C \times w.$$

Из совместного решения системы уравнений найдем выражение для статической характеристики электропривода в режиме стабилизации тока

$$I(w) = \frac{K_{OY.PT} \times K_{ТП}}{R_{ЯЦ} + K_{OY.PT} \times K_{ТП} \times K_T} \times U_{PЭ.ДОП} - \frac{C \times w}{R_{ЯЦ} + K_{ТП} \times K_{OY.PT} \times K_T}$$

После подстановки численных значений получим при $\Phi_{двн}$

$$I(w) = \frac{1 \times 10^4 \times 98,4}{0,02983 + 1 \times 10^4 \times 98,4 \times 0,00625} \times U_{PЭ.ДОП} - \frac{7,97 \times w}{0,02983 + 1 \times 10^4 \times 98,4 \times 0,00625} =$$

$$= I(w=0) - DI(w) = 160 \times U_{PЭ.ДОП} - 0,001296w.$$

Задаваясь рядом значений w рассчитываем статическую характеристику привода в режиме стабилизации тока $I(w)$. Результаты расчёта приведены в таблицу 7.

Таблица 7 - Статическая характеристика привода в режиме стабилизации тока $I(w)$

$w, \text{рад}/\text{с}$	0	52,28	104,56
$I, \text{А}$	1600	1599,93	1599,86

Электромеханические характеристики электропривода приведены на рисунке 34.

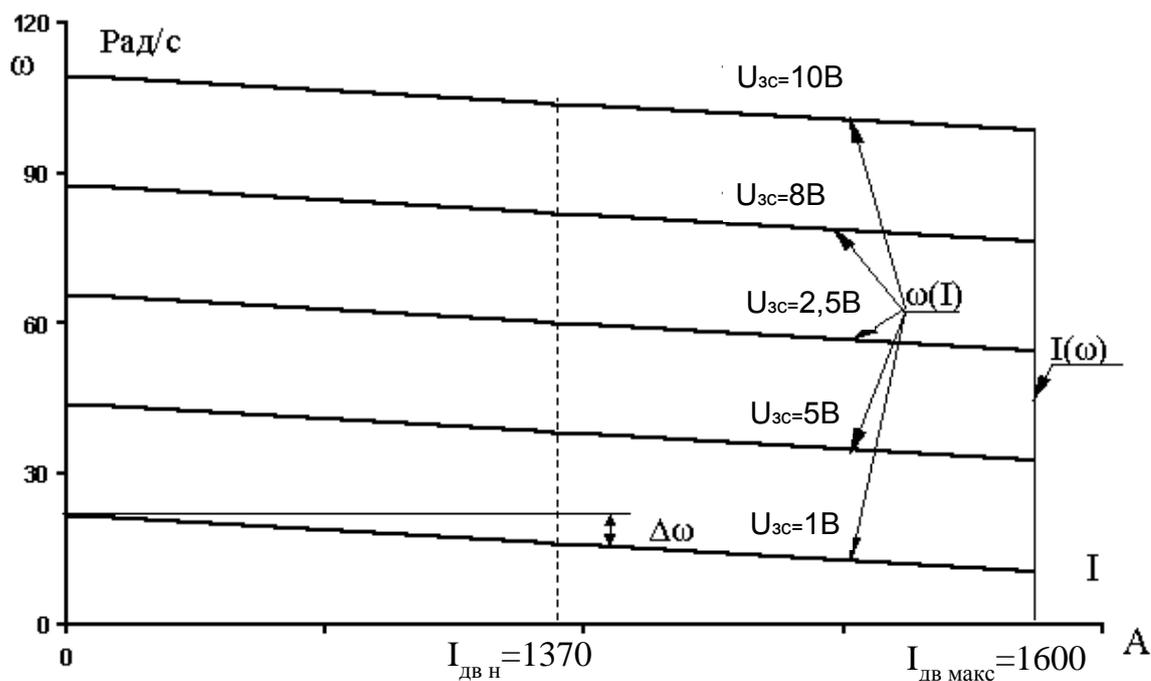


Рисунок 34 – Статические характеристики привода при $K_{pэ} = 8$

Из полученных результатов следует, что в режиме стабилизации скорости электропривод имеет мягкие характеристики, а в режиме стабилизации тока электропривод точно удерживает заданный максимальный ток 1600А. Жесткость характеристик электропривода при необходимости может быть повышена путем увеличения коэффициента усиления регулятора ЭДС при настройке.

Условие выбора значения коэффициента усиления РЭ, при котором жесткость характеристик замкнутой системы будет выше, чем жесткость разомкнутой системы ТП-Д определяется выражением.

$$K_{pэ} > \frac{K_T}{K_э \times R_{яц}} = \frac{0,00625}{0,024 \times 0,02983} = 8,69.$$

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Хасидов Максим Рахминович

Институт	ИШЭ	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость ресурсов проектных работ	Затраты на специальное оборудование определяются согласно стоимости оборудования по прейскурантам или по договорной цене. Положение об оплате труда.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов;	ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения.	Отчисления во внебюджетные страховые фонды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности выполнения технического проекта;	Оценка потенциала и перспективности реализации ТП можно оценить с помощью анализа конкурентных технических решений
2. Планирование пусконаладочных работ.	Для составления графика технико-конструкторских работ используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным строится график инженерных работ, позволяющий лучше спланировать процесс реализации ТП
3. Определение сметы пусконаладочных работ	В процессе формирования сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям: <ul style="list-style-type: none"> • затраты на специальное оборудование; • полная заработная плата исполнителей; • отчисления во внебюджетные фонды; • накладные расходы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

График выполнения пусконаладочных работ

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Хасидов Максим Рахминович		

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является проектирование и создание технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования. В данном разделе рассчитывается сумма затрат на проектирование электропривода насоса буровой установки УНБ 600, и сумма затрат на покупку оборудования для реализации проекта.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка технического проекта при помощи SWOT-анализа;
- расчет затрат на проектные работы электропривода насоса буровой установки УНБ 600;
- планирование проектно-конструкторских работ;
- определение ресурсной эффективности проекта.

5.1 SWOT-анализ электропривода насоса буровой установки

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта[7].

Применительно к проекту по разработке электропривода насоса буровой установки УНБ 600.

SWOT-анализ позволит оценить положительные и отрицательные стороны проекта.

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

При составлении матрицы SWOT-анализа стоит использовать следующие обозначения: **С** – сильные стороны проекта; **Сл** – слабые стороны проекта; **В** – возможности; **У** – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 8

Таблица 8- Матрица SWOT-анализа технического проекта.

	Сильные стороны проекта: С1. Высокое качество питающего напряжения С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации С3. Квалифицированный персонал С4. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования	Слабые стороны проекта: Сл1. Повышенный уровень шума Сл2. Значительная стоимость оборудования
Возможности: В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	V1. C1C2C3C4	V1. Сл2Сл3
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	V2. C2C4C5	V2. Сл1Сл2
В3. Резервное питание электропривода насоса буровой установки	V3. C1C2C4C5	V3. Сл2Сл3
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	V4. C1C3C5	
Угрозы: У1. Развитая конкуренция технологии производства	У1. C5	У1. Сл3
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	У2. C5	
У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции по энергетическому и экологическому надзору	У3 C4	У3 Сл2

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

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

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

Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 9 и 10.

Таблица 9 – Интерактивная матрица возможностей.

Возможности	Сильные стороны проекта				
	С1.Высокое качество питающего напряжения	С2.Надежность систем защит и аварийной сигнализации	С3.Большая экономия потребляемой эл.энергии	С4.Квалифицированный персонал	С5.Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	+	+	+	+	-
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	-	+	-	+	+
В3. Резервное питание электропривода насоса буровой установки УНБ 600	+	+	-	+	+
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок	+	-	+	-	+
Возможности	Слабые стороны проекта				
	Сл1. Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования		
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	-	+	+		
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	+	+	-		
В3. Резервное питание электропривода насоса буровой установки УНБ 600	-	+	+		
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок	-	-	-		

Таблица 10 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
	С1. Высокое качество питающего напряжения	С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации	С3. Большая экономия потребляемой эл. энергии	С4. Квалифицированный персонал	С5. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования
У1. Развитая конкуренция технологии производства	-	-	-	-	+
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	-	-	-	-	+
У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции по энергетическому и экологическому надзору	-	-	-	+	-
Угрозы	Слабые стороны проекта				
	Сл1. Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации		Сл3. Значительная стоимость оборудования	
У1. Развитая конкуренция технологии производства	-	-		+	
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	-	-		-	
У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции по энергетическому и экологическому надзору	+	-		-	

По результатам интерактивных матриц, приведенных в ниже, видно, что самой сильной стороной проекта является надежность защит и аварийной сигнализации, так как несвоевременное ликвидация ошибок и аварий может повлечь за собой опасность для жизни людей, а также нарушение технологического процесса. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

5.2 Планирование технического проекта

Организация работ технического проекта осуществляется в следующем порядке:

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

5.2.1 Определение структуры работ в рамках технического проектирования

В данном разделе, представлен весь перечень этапов и работ, а также дано краткое описание работ, выполненных в ходе технического проектирования:

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

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

№3 – сбор исходных данных – это выбор из изученных источников электрических схем соединения; параметров двигателя; параметров частотного преобразователя;

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

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

№6 – выбор оборудования – необходимо произвести выбор оборудования из изученных ранее источников. Данная работа формируется из приводного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, частотного преобразователя и определения типа вентилятора местного проветривания;

№7 – расчёт и проверка модели ДПТ – построение естественных и электромеханических характеристик в среде MATLAB при пуске на минимальной скорости, максимальной скорости и разгон, торможение;

№8 – расчёт и проверка модели ДПТ – расчет статических характеристик системы преобразователь-двигатель, расчет и построение механических $w(M_{эм})$ и электромеханических $w(I_1)$ характеристик двигателя при изменении частоты в среде MATLAB;

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

№10 – сдача проекта – это заключительный этап выполнения ВКР, в котором, студент осуществляет защиту своей работы.

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в рабочих-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения, ожидаемого значения трудоемкости используется следующая формула[7]:

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

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы раб.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.

5.2.3 Разработка графика проведения технического проекта

В рамках планирования технического проекта необходимо построить ленточный график проекта.

Диаграмма Ганта – представляет собой ленточную диаграмму, которая имеет две шкалы: шкала выполняемых задач и временная шкала. В соответствии со сроком, отведенным по проекту каждой задаче, он откладывается на временной шкале.

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 11 строим план-график проведения работы (таблица 12).

Продолжительность выполнения технического проекта заняла 8,4 декад, начиная со второй декады февраля и заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического в календарных днях заняла 84 дня. Из них:

70 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;

дней – продолжительность выполнения работ научный руководитель;

12 дней – выходные дни;

2 дня – праздничные дни.

Результаты расчетов продолжительности выполнения работ приведены в таблице 11

Таблица 11 – Расчет продолжительности выполнения работ, раб.дн.

№ этапа работ	Вид работ	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость	Максимально возможная трудоемкость	Ожидаемая трудоемкость
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	1	1
2	Сбор и изучение литературы	Дипломник	6	10	7
3	Сбор исходных данных	Дипломник	6	10	7
4	Подготовка для ввода в базу	Дипломник	6	10	7
5	Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
6	Выбор оборудования	Дипломник	2	4	3
7	Расчёт и проверка модели АД	Дипломник	11	14	12
		Руководитель	1	1	1
8	Расчет и проверка АД-ПЧ	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
9	Оформление пояснительной записки	Дипломник	5	9	7
		Руководитель	1	3	2
10	Сдача проекта	Дипломник	1	1	1
		Руководитель	1	1	1

Таблица 12- План-график проведения работы

Подэтапы	Исполнители	Раб.дни	Продолжительность выполнения работ											
			Март		Апрель			Май			Июнь			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1			
1. Составление ТЗ	Руководитель	1	■											
2. Сбор и изучение литературы	Дипломник	7	■	■										
3. Сбор исходных данных	Дипломник	7		■	■									
4. Подготовка для ввода в базу	Дипломник	7			■	■								
5. Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	13			■	■	■							
	Руководитель	1					■							
6. Выбор оборудования	Дипломник	3					■	■						
7. Расчет и проверка модели АД	Дипломник	12					■	■	■					
	Руководитель	1							■					
8. Расчет и проверка АД-ПЧ	Дипломник	13							■	■	■			
	Руководитель	1									■			
9. Оформление пояснительной записки	Дипломник	7									■	■		
	Руководитель	2											■	■
10. Сдача технического проекта	Дипломник	1												■
	Руководитель	1												■

5.3 Составление сметы технического проекта

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

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

5.3.1 Расчет материальных затрат

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители (флеш-карты), телефонная связь и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле

$$Z_M = \sum_{i=1}^m C_i \times N_{расхi},$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, преysкуранта.

Привлечение сторонней организации „Ресчат 24” для типографических работ приведена в таблице 13.

Таблица 13 - Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	1	320	320
Ручка	1	12	12
Брошюровка	1	50	50
USB накопитель	1	500	500
Калькулятор	1	300	300
Линейка	1	40	40
Распечатка текста	200	1.7	340
Итого			1780

5.3.2 Полная заработная плата исполнителей ВКР

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

Полная заработная плата рассчитывается по формуле [7]:

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

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

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

Основная заработная плата исполнителей рассчитывается по формуле[7]:

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [7]:

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

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

$Z_{\text{р.к.}}$ – доплата с учетом районного коэффициента (30 %), руб.;

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 14.

Таблица 14 – Расчёт основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Оклад, руб.	Районная доплата, руб.	Месячная зарплата, руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Кол-во дней	Основная заработная плата руб.
Руководитель	33,664	10,099	43,763	1,683	7	11,782
Дипломник	12,300	3,690	15,990	615	70	43,050

Дополнительная заработная плата, составляет 12-15% от основной.

Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб
Руководитель	0,15	11,782	1,767	13,500
Дипломник	0,12	43,050	5,166	48,200
Итого		54,832	6,933	61,700

5.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [7]:

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

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot 61,7 = 18,6 \text{ тыс. руб.}$$

5.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: оплата услуг телефонной связи, интернет и т.д.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

5.3.5 Формирование сметы технического проекта

Расчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции. Определение затрат на технический проект приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Смета технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс.руб.	Структура затрат, %
Материальные затраты ТП	1,7	1,5
Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	61,7	63,3
Отчисления во внебюджетные фонды	18,6	19,2
Накладные расходы	15,3	16,0
Итого	97,3	100,0

Исходя из представленной выше таблицы 16, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение технического проекта составляет 97,3тыс.руб. Большая часть (63,3%) составляют затраты на заработную плату исполнителей.

5.3.6 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности [7]:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию электропривода бурового насоса УНБ 600 рекомендуется рассмотреть следующие критерии:

Надежность электропривода бурового насоса УНБ 600 – это длительный эксплуатационный ресурс (в частности, в условиях атмосферы с содержанием агрессивных реагентов, не стабильным напряжением и высокой влажностью). Надежность повышает исполнение всех деталей оборудования во взрывозащищенном и влагостойком корпусе, электроснабжения обеспечивается дополнительным резервным питанием, что в свою очередь позволяет обеспечить безаварийность и бесперебойность в работе.

Энергосбережение электропривода бурового насоса УНБ 600 – это экономия электрической энергии. Энергосбережение достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей, использование частотно-регулируемого привода.

Материалоемкость электропривода бурового насоса УНБ 600 – это показатель расхода энергии для работы в номинальном режиме.

Производительность бурового насоса УНБ 600 – должна обеспечить подвод к долоту гидравлической мощности, обеспечивающей высокую скорость истечения (до 180 м\сек) раствора, для циркуляции в скважине в процессе бурения промывки и ликвидации аварий в количестве, обеспечивающем эффективную очистку забоя и долота от выбуренной породы.

Удобство – это возможность лёгкой настройки, монтажа и демонтажа электропривода. Удобство монтажа и демонтажа осуществляется в отсутствие большого количества резьбовых соединений, в данной конструкции используются мультиконтактные силовые разъёмы.

Производительности труда – это показатель, характеризующий результативность труда, обеспечивается в проекте благодаря автоматизации, но при этом капиталовложения возрастают. Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
Надежность	0,25	5
Энергосбережение	0,20	5
Материалоемкость	0,15	4
Производительность	0,15	4
Удобство	0,15	5
Производительность труда пользователя	0,10	4
Итого:	1,00	4,6

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 = 4,6$$

С точки зрения коммерческого потенциала и перспективности разработки проекта отметим следующее:

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5 балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и энергосбережения позволяют судить о надежности системы. В данном разделе были рассмотрены и раскрыты следующие вопросы: - произведен SWOT-анализ, который выявил, приоритетные стороны этого проекта, указывающие на перспективность проекта в целом. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта. - составлена диаграмма продолжительности работ, позволяющая скоординировать работу исполнителей.

Рассчитана смета затрат на выполнение технического проекта, которая составила 97,3тыс.руб. - определен показатель ресурсоэффективности проекта, который имеет достаточно высокое значение – 4,6 (по 5- балльной шкале).

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Хасидов Максим Рахминович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	Асинхронный электропривод насоса буровой установки БУ-2900/200 ЭПК БМ.
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	-Объектом исследования является асинхронный электропривод насоса буровой установки в машинном отделении. -Объект исследования применяется в различных отраслях промышленности для бурения нефтяных и газовых скважин.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	- Основные требования по обеспечению безопасной эксплуатации насоса прямой подачи. - Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны, где установлены насосы прямой подачи. - Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены. - Организация и охрана труда.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 2.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	Основными вредными факторами являются: - Механические колебаниями твердых тел и их поверхностей, (вибрация); - Акустические колебаниями в производственной среде(шум); - Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны). - Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата); Опасными факторами станции являются: Возможность получения травм в следствии: а) движения машин и механизмов; б) наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия объекта на литосферу(отходы);
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: -Пожар, взрыв. - Аварии.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Хасидов Максим Рахминович		

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов при работе насоса буровой установки компании ОАО «Лукойл», анализ пожарной безопасности и выработка мероприятий, направленных на предотвращение пожаров.

Исследуемый в проекте электропривод насоса УНБ600 буровой установки БУ 2900/200 ЭК-БМ, на базе нереверсивного тиристорного преобразователя, предназначен для управления вращением роторного стола в процессе бурения и эксплуатации скважин.

Преимуществом такого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока является обеспечение требуемой степени защиты. Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Степень защиты корпусов электродвигателей от попадания механических частиц и проникновения пыли. Это важно для рассматриваемого производства и требует степень защиты электрических машин не ниже IP54.[14].

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовые отношения в компании ОАО «Лукойл» регулируются "Трудовым кодексом Российской Федерации"[23], коллективным договором данного предприятия, приказами, инструкциями и иными локальными нормативными актами.

В соответствии с коллективным договором и правилами внутреннего распорядка рабочим считается время, в течение которого работник обязан находиться на рабочем месте и выполнять свои трудовые обязанности.

Для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, установлена сокращенная продолжительность рабочего

времени, максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать: при 36-часовой рабочей неделе - 8 часов.

На предприятии организован непрерывный трудовой процесс в три смены[23]:

I смена — с 7 часов утра до 15 часов;

II смена — с 15 часов до 23 часов;

III смена — с 23 часов до 7 часов утра.

Учетным периодом при суммированном учете рабочего времени является календарный месяц. Ночной сменой при указанном режиме признается III смена, а вечерней — II смена.

Когда условия производства (работы) не позволяют предоставить обеденный перерыв, работодатель обязан обеспечить возможность отдохнуть и перекусить в течение рабочего времени (ч. 3 ст. 108 Трудового кодекса РФ). В данном случае работодатель организует прием пищи работниками на рабочих местах, продолжительность отдыха и питания длится не более 30 минут. Перечень таких работ, время начала и окончания, и место приема пищи определяются коллективным договором предприятия.

Ежегодный основной оплачиваемый отпуск продолжительность 28 календарных дней предоставляется работникам в соответствии со ст. 115 ТК РФ[23]. Людям, работающим по совместительству, ежегодные оплачиваемые отпуска предоставляются одновременно с отпуском по основной работе (ст. 286 Трудового кодекса РФ)[23]. Если на работе по совместительству работник не отработал 6 месяцев, отпуск предоставляется авансом. По соглашению между работником и работодателем ежегодный оплачиваемый отпуск может быть разделен на части. При этом хотя бы одна из частей этого отпуска должна быть не менее 14 календарных дней (ст. 125 Трудового кодекса РФ)[23].

На работах с вредными условиями труда, а также на работах, связанных с загрязнением, работникам выдается бесплатно по установленным нормам специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты. В соответствии со статьей 222 Трудового кодекса Российской

Федерации на работах с вредными условиями труда предоставляется бесплатно по установленным нормам лечебно-профилактическое питание.

Конструктивная особенность буровой установки модульного исполнения. Помещение машинного (насосного) отделения выполнено из негоряемых материалов первой степени огнестойкости. Модуль машинного (насосного) состоит из сборных железобетонных конструкций, которые относятся к негоряемым материалам первой степени огнестойкости и имеют предел огнестойкости R120 [18]. Блочно-модульное исполнение предусматривает повышение монтаже способности и улучшенный обогрев модулей. Система обогрева рабочих мест смешанная (электро- и паробогрев).

Напряжение питания 220 и 380В. Электроустановки до 1000 В. Обслуживание поручается лицам, имеющим квалификацию, соответствующую действующим требованиям.

6.2 Производственная безопасность

Таблица 18 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).				Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-83-99 ССБТ [24] цеху обогащения –90дБ.
2. Акустические колебаниями в производственной среде (шум)				СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки; СП 51.13330.2011. Защита от шума. [20]
3. Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)				Требуемая норма освещения Е _{нор} =200 ЛК. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95[28].

4. Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата)				Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [15]: СанПиН 2.2.4.548-96
5. Движение машин и механизмов				Требуемая норма (расстояние) от движущихся механизмов и машин 1 м, согласно СНИП 10-01-93[33]. СТ СЭВ 790-77.
6. Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.				[ГОСТ Р 52726-2007, пункт 3.16] Наличие высокого напряжения на рабочем месте, ГОСТ Р МЭК 536-94- Средства защиты от поражения эл. током.

6.2.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

Неблагоприятные условия окружающей среды вредно воздействуют на организм работающего, снижают реакцию, повышают утомляемость. К производственным вредным факторам на рассматриваемом производстве относятся:

Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация)

Вредным производственным фактором является вибрация - механические колебания твердых тел, передаваемые организму человека. Источником вибрации является работа насоса буровой установки. Колебания могут быть причиной расстройства сердечнососудистой и нервной системы, а также опорно-двигательной системы человека. Параметры вибрации регламентируются санитарными нормами и ГОСТом. Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-83-99 ССБТ[24] насоса буровой установки - 90 дБ.

Акустические колебаниями в производственной среде (шум)

Опасности психологической группы связаны с шумом в обслуживании насоса буровой установки, что приводит к снижению внимания, повышению

травматизма. Источниками шума являются грохоты, давление в рабочем состоянии. В данном производственном шум достигает 75—80 дБ.

Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)

Безопасность на производстве в значительной мере зависит от освещения. Свет влияет на физиологическое состояние человека, правильно организованное освещение стимулирует протекание процессов высшей нервной деятельности и повышает работоспособность. При недостаточном освещении человек работает менее продуктивно, быстро устает, растет вероятность ошибочных действий, что может привести к травматизму.

Освещенность на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы. В данном случае работы относятся к разряду IV Г [17]. Требуемая норма освещения $E_{нор}=200$ ЛК. Для создания $E_{нор}$ применяется совмещенное освещение: естественное и общее люминесцентное освещение.

Для создания рациональных условий освещения большое значение имеет тщательный и регулярный уход за установками естественного и искусственного освещения.

Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата)

В основу нормирования микроклимата положены условия, при которых организм человека сохраняет нормальный тепловой баланс за счет определенных физиологических процессов (прилив крови к кожаному покрову, потоотделение и др.), благодаря которым осуществляется терморегуляция, обеспечивающая сохранение постоянной температуры тела путем теплового обмена с внешней средой. При несоблюдении норм микроклимата снижается работоспособность человека, возрастает опасность возникновения травм и ряда заболеваний, в том числе профессиональных.

Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [15]:

температурой воздуха:

- в холодный период года $t=19-21^{\circ}\text{C}$;

- в тёплый период года $t=20-22^{\circ}\text{C}$;

влажностью воздуха:

- в холодный период года 60-40 %;

- в тёплый период года 60-40%;

скорость движения воздуха:

- в холодный период года 0,2 м/с;

- в тёплый период года 0,2 м/с.

-

6.2.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

Возможность получения травм в следствии:

1) Движения машин и механизмов

Основными причинами травмирования рабочих при эксплуатации винтового компрессора является: отсутствие ограждений у движущихся и вращающихся частей; ремонт и смазка насоса буровой установки во время его работы; включение насоса буровой установки без предупреждения; некачественное крепление приводных и натяжных головок; нарушение производственной и технологической дисциплины (эксплуатация цепи с повышенным износом и т.п.).

Для исключения возможности получения травм в работе с насоса буровой установки допускаются лица, хорошо изучившие правила обслуживания и управление насосом буровой установки и прошедшие инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

2) Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.

Основными причинами поражения человека электрическим током являются: удар электрическим током при использовании неисправных электроприборов; присоединение к незаземленным частям

электроустановки (контакты, провода, зажимы и т.д.). Последствия при пожаре электрическим током – термические ожоги потеря сознания, разрыв внутренних органов, костных тканей и смерть.

Виды электротравм: местные, когда возникает местное повреждение организма; общие, так называемый электрический удар, когда непосредственно нарушается весь организм, из-за нарушения нормальной деятельности жизненно важных органов и систем.

Местные электротравмы – это ярко выраженное местное нарушение целостности тканей тела, в том числе костных тканей, вызванное воздействием электрического тока или электрической дуги. Чаще всего это поверхностные повреждения, т. е. поражение кожи, а иногда и других мягких тканей, а также связок и костей. Опасность местных травм и сложность их лечения зависит от места, характера и степени повреждения тканей, реакции организма на это повреждение. Как правило, местные электротравмы излечиваются, и работоспособность пострадавшего восстанавливается полностью или частично. Смерть от местных электротравм - редкий случай (обычно при тяжелом ожоге человек погибает). Причиной смерти при этом является не ток, а местное повреждение организма, вызванное током.

Характерные местные электротравмы:

электроожоги – 40 %

электрические знаки – 7 %

металлизация кожи – 3 %

механические повреждения – 0,5 %

Электроофтальмия – 1,5 %

Смешанные (ожоги + др. местные электротравмы) – 23 %

Элетроожог – самая распространенная электротравма. Возникает у 63 % пострадавших от электротока. 23 % (т.е. треть из них) сопровождается другими травмами. 85 % ожогов приходится на электромонтеров, обслуживающих действующие ЭУ.

6.2.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация)

Снижение неблагоприятного воздействия вибрации ручных механизированных устройств на операторов достигается как путем уменьшения интенсивности вибрации непосредственно в ее источнике (за счет конструктивных усовершенствований), так и средствами внешней виброзащиты, которые представляют собой упругодемпфирующие материалы и устройства, размещенные между источником вибрации и руками оператора.

В качестве средств индивидуальной защиты работающих, используют специальную обувь на массивной резиновой подошве. Для защиты рук служат рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки, которые изготовляют из упругодемпфирующих материалов.

Акустические колебаниями в производственной среде (шум)

При превышении уровня шума в рабочей зоне от 80 дБА, наниматель должен провести оценку риска здоровью персонала и подтвердить приемлемый риск здоровью[20].

Если эквивалентный уровень шума – от 85 дБА, то работать нельзя [20]. Все оборудование, применяемое на участке обработки, для снижения шума установлено на виброопорах. Для защиты органов слуха применяют: наушники, антифоны, беруши.

Работы оператора по обслуживанию насоса прямой подачи относятся к категории средней тяжести 2а (физическая средней тяжести, энергозатраты до 200 ккал/ч) [15].

Факторы связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)

Освещенность на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы. В данном случае работы относятся к разряду IV Г [17]. Требуемая норма освещения $E_{нор}=200$ ЛК. Для создания $E_{нор}$ применяется совмещенное освещение: естественное и общее люминесцентное освещение.

Для создания рациональных условий освещения большое значение имеет тщательный и регулярный уход за установками естественного и искусственного освещения.

Основными мероприятиями для защиты от поражения электрическим током являются: Организационные и технические.

Организационные мероприятия включают в себя:

- правильный подбор персонала, обслуживающего электроустановки (запрещение использования труда лиц моложе 18 лет, а также не обученных и не прошедших медицинское освидетельствование для работы данного вида);

- обучение правилам безопасности при обслуживании электроустановок, т. е. проведение специального обучения для выполнения работ с повышенной опасностью, аттестации, инструктаж по безопасности труда, разработка и издание инструкций по охране труда, применение средств пропаганды правил электробезопасности (плакатов, видеофильмов и пр.);

- назначение ответственных за электрохозяйство лиц; контроль за правильностью устройства электропроводок и установкой электрооборудования в соответствии с ПУЭ; проведение периодических осмотров, измерений и испытаний электрооборудования (в сухих помещениях — 1 раз в два года, в сырых — ежегодно, при этом сопротивление рабочей изоляции проводов, кабелей и электрооборудования в процессе эксплуатации не должно быть менее 0,5 и 2 М Ом для двойной или усиленной изоляции), а в случае несоответствия предъявляемым требованиям — его ремонта; контроль за надежностью СИЗ от поражения электрическим током.

Технические мероприятия. К ним относят: применение устройств (предохранителей, отключающих реле и т. п.) защиты электроустановок и сетей от перегрузок, а также токов коротких замыканий; защиту людей и животных от прикосновения к токоведущим частям оборудования посредством применения глухого ограждения высоковольтного оборудования и размещения его в отдельных зданиях, изоляции токоведущих частей электрооборудования, установки защитных ограждений, расположения

электроприборов на недоступной для людей и животных (более 2 м) высоте; защита от поражения электрическим током при переходе напряжения на металлические корпуса электроустановок; устройство защитного заземления; зануление электроустановок в сетях с глухо-заземленной нейтралью; применение защитного отключения; использование электрооборудования с малым (менее 42 В) напряжением; выравнивание потенциалов электрооборудования и земли в местах нахождения людей и животных; изоляция электроустановок и электродвигателей от корпусов рабочих машин; применение диэлектрических настилов и изолирующих площадок.

6.3 Экологическая безопасность

В процессе эксплуатации насоса буровой установки образуются отходы производства: отработанные ртутные лампы, отработанные индустриальные масла, бытовой мусор. Собственных мест хранения, захоронения отходов у компании ОАО «Лукойл» нет. Все отходы предприятие передает различным организациям для дальнейшей утилизации. На предприятии разработан проект нормативов образования и лимитов размещения отходов на основании нормативных актов, действующих в сфере обращения с отходами. В соответствии с Законом РФ «Об охране окружающей среды» и другими законодательными документами, а также с целью поддержания экологического равновесия в районе на газоперерабатывающем заводе ОАО «Лукойл» проводится экологический мониторинг.

Основные виды мониторинга:

- мониторинг загрязнения атмосферы - проводится на границе санитарно-защитной зоны предприятия;
- мониторинг сточных вод - проводится по безымянному ручью на входе его на пром. площадку и при выходе с пром. площадки.

Функции и обязанности по соблюдению норм в области охраны окружающей среды выполняет инженер по охране окружающей среды, действующий на основании «Положения о производственном контроле» и Должностной инструкции инженера по охране окружающей среды

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Техногенные пожары и взрывы — это происшествия, которые вызваны хозяйственной деятельностью человека. В связи с насыщенностью сферы производства сложной техникой, такие чрезвычайные ситуации происходят все чаще, что вызывает большое беспокойство специалистов.

Техногенное происшествие содержащее угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению зданий, сооружений, оборудования и т.п. Травмы персонала полученные при аварии оборудования под высоким давлением гидроудара (разрушение механических частей насосов высокого давления).

Гидроудар – это ударная волна, которая распространяется по поверхности водопровода, а так же по элементам арматуры. Разрушительное действие такого явления связано, прежде всего, с невозможностью жидкости сжиматься.

В данном технологическом процессе может возникнуть пожар из-за короткого замыкания, вызывающих высокую температуру нагревания проводников, и разрушение механических частей оборудования под высоким давлением гидроудара что приводит к воспламенению изоляционного материала, разрушению механических частей, получению травм обслуживающего персонала.

На рабочем месте каждый электропривод оборудования должен быть оснащен защищенной аппаратурой. Должна быть предусмотрена блокировка и защита на случай короткого замыкания и перегрузок. Установлены системы предотвращения пожара и противопожарной защиты.

Предупреждение ЧС готовность к ним и реагирование должны быть составной частью системы управления охраной труда в организации.

В соответствии с этим в каждой организации должны быть определены мероприятия по предупреждению аварийных ситуаций, обеспечению готовности к ним и реагированию.

Мероприятия должны:

- Гарантировать, что имеющаяся необходимая информация, оповещение и координация действий работников обеспечат защиту всех людей в случае аварийной ситуации в рабочей зоне;

- Предоставлять информацию соответствующим службам аварийного реагирования и обеспечивать их быстрое оповещение при аварии;

- Предусматривать оказание первой медицинской помощи, проведение противопожарных мероприятий и эвакуацию всех людей, находящихся в рабочей зоне;

- Предоставлять соответствующую информацию и возможность подготовки всех работников, включая проведение регулярных тренировок по предупреждению аварийных ситуаций, обеспечению готовности к ним и реагированию.

Защита электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок

Защита электрооборудования и электрических сетей от токов короткого замыкания и значительных по величине и продолжительных перегрузок осуществляется предохранителями с плавкими вставками и автоматическими выключателями. При выборе аппаратов защиты должны быть соблюдены следующие условия:

- номинальное напряжение предохранителя должно быть равно или больше номинального напряжения сети

- плавкая вставка предохранителя не должна плавиться при расчетном токе

- плавкая вставка не должна расплавляться при пиковых токах.

Воспламенения изоляции в следствии повышения температуры

С физической точки зрения, источниками загорания, проявляющимися при описанных аварийных электрических режимах, являются:

а) сильное тепловыделение при прохождении тока. Это может происходить по причине несоответствия величины протекающего тока и сечения проводника – либо за счет того, что ток слишком велик для данного штатного проводника (перегрузка) или микроканала, по которому проходит ток утечки (нагрев при не полном коротком замыкании);

б) искры, возникающие при больших переходных сопротивлениях, а также работе коммутационных устройств другого искрящего «электрооборудования»;

в) макродуги, возникающие при коротком замыкании;

г) раскаленные частицы и капли расплавленного металла, образующиеся при коротком замыкании.

При анализе версий обычно учитывают, что источники зажигания как правило проявляют себя не поодиночке, а в комплексе. И при коротком замыкании, и при перегрузке, и больших переходных сопротивлениях часто имеет место сочетание последовательно или параллельно протекающих физических процессов и в каждом из них в ходе развития может проявиться несколько указанных факторов:

- при металлическом коротком замыкании – электрическая дуга с присущими «опасными факторами», но, плюс к этому, может проявиться и перегрузка за счет прохождения по электрической цепи тока короткого замыкания

- при неметаллическом коротком замыкании – утечка тока, нагрев изоляции, и ее карбонизация, разложение (если она представляет собой органический материал), но, в конечном счете, дело может закончиться пробоем и электрической дугой, опять же, с присущими ей «опасными факторами» и характерными следами (дуговыми оплавлениями);

- при перегрузке – нагрев проводников на протяженном участке и более сильный – в локальных зонах БПС. Если последние присутствуют в электрической цепи, то горение при перегрузке, скорее всего, возникнет в зоне их нахождения, если там имеются соответствующие горючие материалы. Если нет, то изоляция перегруженного провода может загореться в любом другом месте. Закончиться же все может, как и в предыдущих случаях, электрической дугой и дуговыми оплавлениями.

Защита от Гидроудара

Для защиты от гидроудара соблюдение правила монтажа водопроводных и отопительных коммуникаций позволяет свести к минимуму вероятность возникновения такого опасного явления, как гидравлический удар, но полностью исключить его только правильно спроектированными системами не получится. Для избегания такой неприятной ситуации необходим комплексный подход и соблюдение правил безопасности и технических инструкций.

Значительно снизить вероятность возникновения гидравлического удара, можно если следовать следующим правилам при проведении монтажа водопроводов и их эксплуатации.

· При запуске водопровода или отопления в эксплуатацию, запорные элементы арматуры должны открываться **очень медленно**. Прекрытие подачи жидкости, также должно осуществляться очень плавно. Плавное закрытие и открытие запорной арматуры должно осуществляться не только на промышленных объектах, но и при запуске водоснабжения и отопления в частном доме. Чрезмерное давление при возникновении гидравлического удара способно легко повредить домашние коммуникации, поэтому не стоит пренебрегать правилами технической безопасности, в случае когда вода в частном доме подаётся со значительным давлением.

· Если в системе водопровода или отопления установить автоматические устройства плавного открытия и закрытия запорной арматуры, то можно полностью исключить человеческий фактор при

возникновении гидравлического удара. Конечно, при использовании электроники, водопроводные системы становятся зависимыми от электрического тока, но, чтобы полностью исключить вероятность выхода из строя по причине установленных автоматов, необходимо оборудовать такие механизмы резервным источником электроэнергии. Такая подстраховка абсолютно необходима, как на крупном предприятии, так и для нормального функционирования коммуникаций расположенных в частном доме. Автоматической регулировкой рекомендуется оснастить и насосные станции. В этом случае, также можно избежать гидроудара от резкого перепада давления в результате включения или отключения мощного насосного оборудования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы рассчитаны параметры силовой цепи и цепи возбуждения, определены оптимальные параметры настройки электропривода, рассчитаны статические и динамические характеристики. С помощью прикладных программ исследованы режимы работы привода в первой и второй зоне регулирования скорости и проанализировано влияние параметров электропривода на динамику системы.

На основании приведённых исследований и расчетов показано, что данный электропривод бурового насоса удовлетворяет требованиям технического задания и может быть использован в качестве электропривода бурового насоса с двухзонным регулированием скорости.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен технический проект и решены следующие задачи:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

В разделе «Социальная ответственность» был проведен анализ опасных и вредных факторов, возникающих в процессе эксплуатации асинхронного электропривода насоса буровой установки газоперерабатывающего завода. Освещены вопросы техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности. Также рассмотрены вопросы экологической безопасности, составлены меры и действия, проводимые работниками, во время возникновения аварийной ситуации.

THE CONCLUSION

During performance of final qualifying work the parameters of a power circuit and circuits of excitation are designed, the optimum parameters of adjustment of the electric drive are certain, are designed static and dynamic characteristics. With the help of the applied programs the modes of operations of a drive in first and in the second zone of regulation of speed are investigated and the influence of parameters of the electric drive on dynamics of system is analyzed.

On the basis of the given researches and accounts is shown, that the given electric drive of a chisel winch meets the requirements of the technical project and can be used as the electric drive of rise columns and pipes with two-zoned regulation of speed.

In an economic part of work the estimation of the feasibility report of a choice of a theme is carried out, the account of expenses on designing and

realization of starting-up and adjustment works of the main electric drive of a winch of chisel installation, and also stages of their realization is given.

In work questions of safety and ecology, electro safety, industrial norm and fire safety are considered at installation, adjustment and service of the electric drive on chisel installation.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дудля Н.А. Проектирование буровых машин и механизмов: Учебник - К.:Выща шк.,1990. - 390 с.
2. Документация по обслуживанию электропривода лебедки буровой установки БУ 2900/200 ЭПК-БМ
3. Удут Л.С, Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. - Томск: Изд. ТЛИ им. С,М. Кирова, 1991. - 104 с.
4. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник/ И.Х.Евзеров и др.; под ред. В.М.Перельмута. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 319с.
5. Тарабин Б.В., Лунин Л.Ф., Смирнов Ю.Н. Интегральные микросхемы: Справочник. - М.: Энергоиздат, 1985. - 528 с.

6. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. - Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. - Оптимизация контура регулирования. - Томск: Изд.ТПУ,2000.-144с.
7. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Технико-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.
8. Броун С.И., Хоботько В.И. Программированное руководство по безопасному ведению буровых работ. - М.: Недра, 1978.
9. С.И. Броун. Охрана труда в бурении. - М.: Недра, 1981.
10. Правила безопасности в нефтегазодобывающей промышленности. Изд.2. - М.: Недра, 1975.
11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ) и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТБ). - М.: Атомиздат, 1972.
12. Техника безопасности в нефтяной промышленности. - Труды ВНИИТБ, вып. XIX - XXVII, 1970 - 1977.
13. Система стандартов безопасности труда. Сборники ГОСТов. 4 тома. - М.: издательство стандартов, 1971.
14. Охрана труда в машиностроении. Под редакцией Е.Я. Юдина. - М.: Машиностроение, 1983.
15. Противопожарные требования. Основные положения проектирования СнИП /П-А.5-70.-М.:1971.
16. Методическое пособие для расчета вибрации. - Т.: ТПУД989.
17. Панов Г. Е., Броун С. И. Охрана окружающей среды в нефтегазодобывающей промышленности. - М.: ВНИИОЭНГ, 1988.