

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Регулируемый электропривод насоса буровой установки

УДК 62-83-52:622.242.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А2	Курбонбоев Дониёр Мурод угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

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

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА2	Курбонбоеву Дониёру Мурод угли

Тема работы:

Регулируемый электропривод насоса буровой установки

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2018г.

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	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Схема электрическая принципиальная; ▪ Схема электрическая функциональная; ▪ Схема электрическая структурная; ▪ Имитационная модель; ▪ Демонстрационный лист; ▪ Техничко-экономические показатели;
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Заключение

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2018г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В.	К.Т.Н.		05.04.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А2	Курбонбоев Дониёр Мурод угли		05.04.2018г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 106 с., 36 рис., 16 таблиц, 16 источников,

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 КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ	10
1.1 Буровая установка БУ-2900/200 ЭПК БМ	10
1.2 Описание технологического процесса	12
1.3 Насосно-циркуляционный комплекс буровой установки	14
2. ВЫБОР И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА	16
2.1 Электропривод насоса как объект управления	16
2.2 Выбор и расчет параметров электродвигателя	21
2.3 Паспортные параметры электродвигателя	21
2.4 Расчетные параметры двигателя	22
2.5 Расчет параметров цепи обмотки возбуждения двигателя	23
2.6 Механическая система привода насоса	24
2.7 Параметры ОМС привода насоса	25
2.8 Выбор тиристорного преобразователя	28
2.9 Выбор трехфазного токоограничивающего реактора	29
2.10 Расчет параметров якорной цепи привода	31
2.11 Расчет параметров тиристорного возбудителя двигателя	33
2.12 Расчет параметров цепи обмотки возбуждения двигателя	35
2.13 Определение области допустимой работы электропривода насоса	36
2.14 Структурная схема силового канала электропривода насоса	42
3 ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА	44
3.1 Функциональная схема электропривода бурового насоса	44
3.2 Структурная схема САР скорости электропривода насоса	50
3.3 Оптимизация контура тока	52
3.4 Оптимизация контура ЭДС двигателя	54
3.5 Структурная схема САР потока возбуждения двигателя	58
3.6 Оптимизация контура тока возбуждения двигателя	58
4 ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА	60
4.1 Структурная схема нелинейной САУ ЭП насоса	60
4.2 Настройка САУ электропривода на имитационной модели	62
4.3 Исследование САУ электропривода на имитационной модели	63
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	71
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	72
5.1 Расчет номинального фонда времени на проектирование	74
5.2 Расчет затрат по научно-техническому проектированию	75
5.3 Расчет затрат на монтажные и пусконаладочные работы	79
5.4 Выбор состава и численности бригады для проведения ПНР	81
5.5 Определение плана проведения ПНР	81
5.6 Выбор формы и системы оплаты труда	82

5.7	Определение стоимости ПНР	85
5.8	Расчет заработной платы бригады	87
5.9	Правовые документы, действующие при проведении ПНР	88
5.10	Ценообразование	90
	ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	92
6	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	94
6.1	Производственная безопасность	94
6.2	Экологическая безопасность	97
6.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	98
6.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	100
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	103
	THE CONCLUSION	104
	СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	105

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

Бурение - это основа развития нефтяной промышленности, представляет собой строительное производство, в котором находят отражение общие вопросы направления технического прогресса: замена ручного труда машинным; специализация средств производства, т.е. повышение технологических параметров — скорости, мощности, грузоподъемности и т.д.; внедрение систем и средств автоматизации и др.

Создание новых буровых машин - сложная задача прежде всего вследствие специфических условий работы этих машин, к которым относят: способы бурения (вращательный, ударный, комбинированный и др.), необходимость разрушения горных пород крайне разнообразных по своим физико-механическим свойствам; высокую абразивность отдельных разрушаемых пород; необходимость бурения не только вертикальных, но и горизонтальных и наклонных скважин; работу в запыленной, влажной и загазованной среде.

Поэтому процесс проектирования современных буровых машин и оборудования - комплексная задача, при решении которой необходимо учитывать экономические, социальные, технические, эксплуатационные, технологические и специальные требования, предъявляемые к создаваемой технике [1].

Непременным условием выполнения экономических требований является обеспечение минимальных расходов, связанных с процессом создания новой буровой техники и изготовлением ее в заводских условиях.

Следовательно, производительность машины, обеспечиваемая ею производительность труда обслуживающего персонала и 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:

- парк буровых установок укомплектован более чем наполовину морально устаревшими конструкциями;
- имеет место значительное утяжеление и удорожание 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;
- монтажеспособность и транспортабельность установок остается на невысоком уровне, отсутствуют эффективные средства для транспортировки оборудования.

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:

- спуска долота в скважину;
- разрушение породы на забое;
- очистка забоя от выбуренной породы и выноса ее по стволу скважины на поверхность;
- подъема долота после его отработки;
- спуска обсадных труб и ряда других работ.

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

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).

Исходя из условий технологии бурения скважин, установки подразделяются на классы. За основу классификации принята грузоподъемность на крюке, которая служит критерием использованием той или другой буровой

установки для бурения конкретных скважин в зависимости от их глубины и конструкции.

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 спуско-подъемные и углубление скважины.

Спускоподъемные операции включают спуск бурильных труб с породоразрушающим инструментом (бурильной колонной) до забоя скважины и их подъем с отработанным породоразрушающим инструментом на поверхность.

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, калибровочных 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 устано-

вить 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 этой 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,

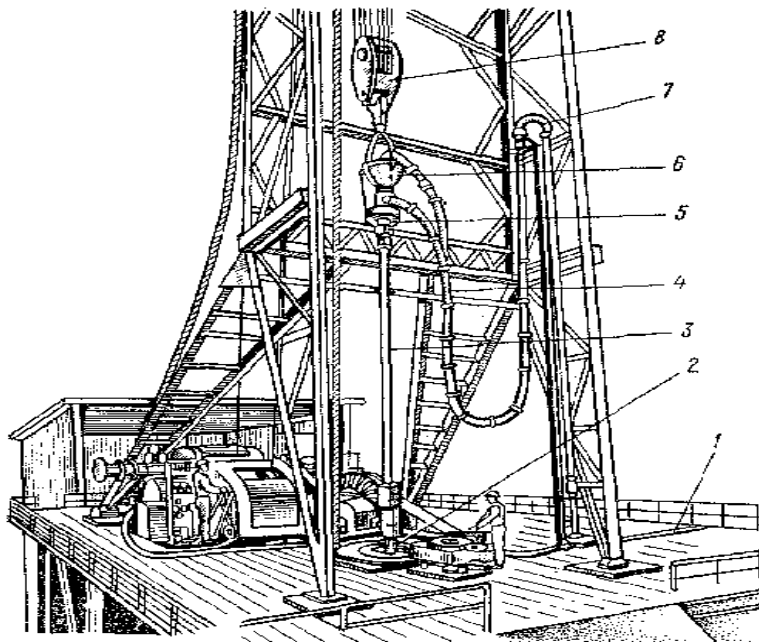


Рисунок 2 – Комплекс буровой установки
поверхности буровой раствор подвергается очистке от частиц выбуренной породы и по системе желобов направляется в приемную емкость буровых насосов. После этого цикл его движения продолжается.

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

1.3 Насосно циркуляционный комплекс буровой установки

На рис. 3 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.

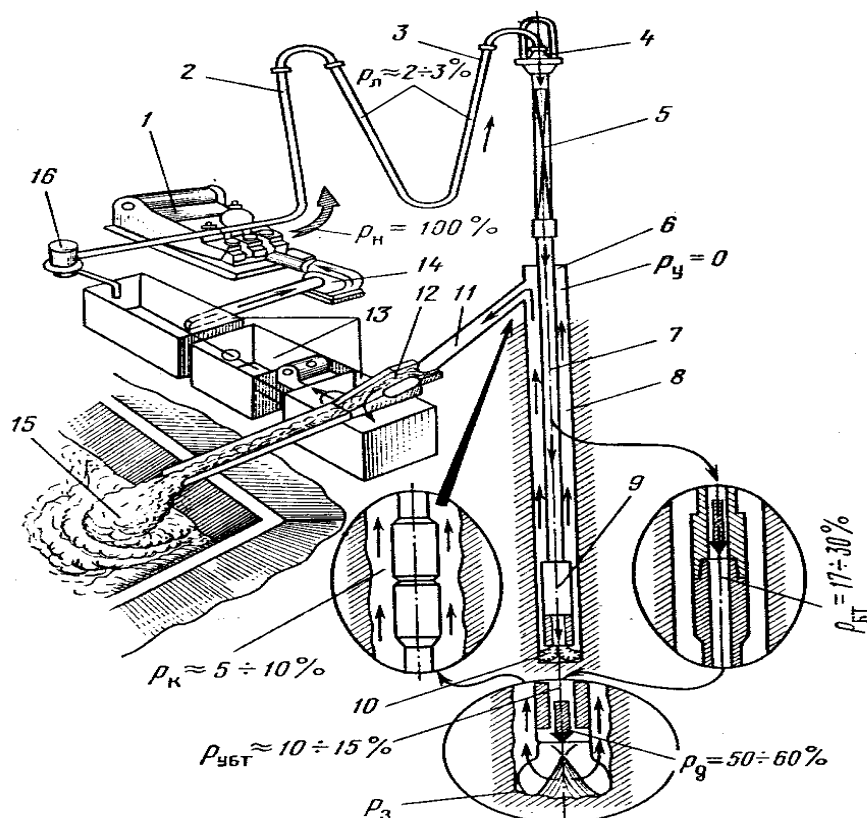


Рисунок 3 – Схема циркуляции бурового раствора

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. Манифольд оборудуется задвижками и контрольно – измерительной аппаратурой. Для работы в районах с холодным климатом предусматривается система обогрева трубопроводов.

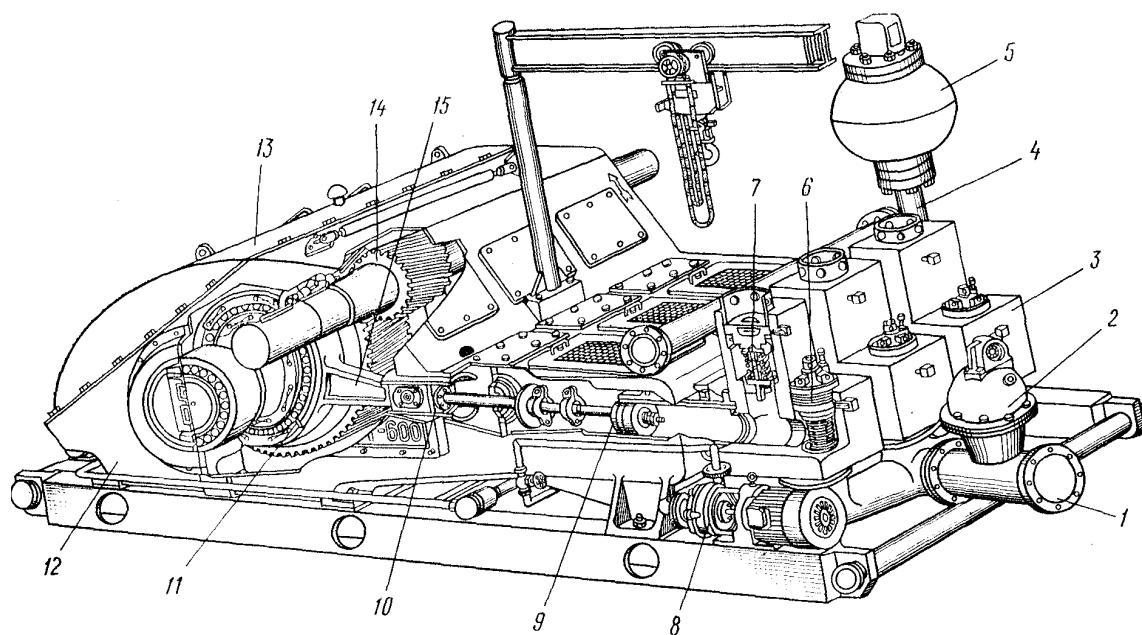


Рисунок 4 Буровой насос УНБ 600

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, $\eta_{\text{нас}} = 0,849$.

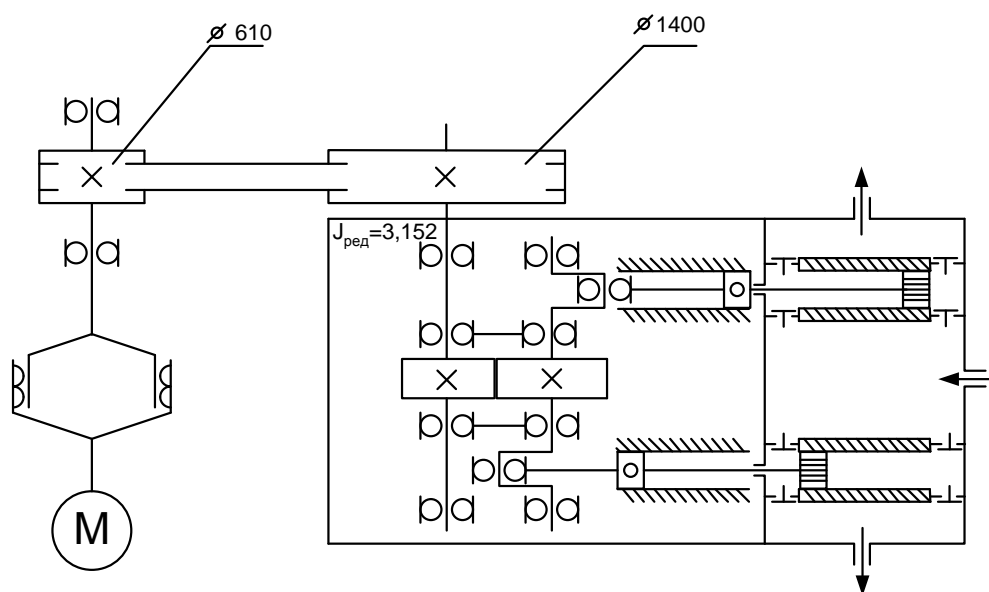


Рисунок 5 Кинематическая схема насоса.

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

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

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

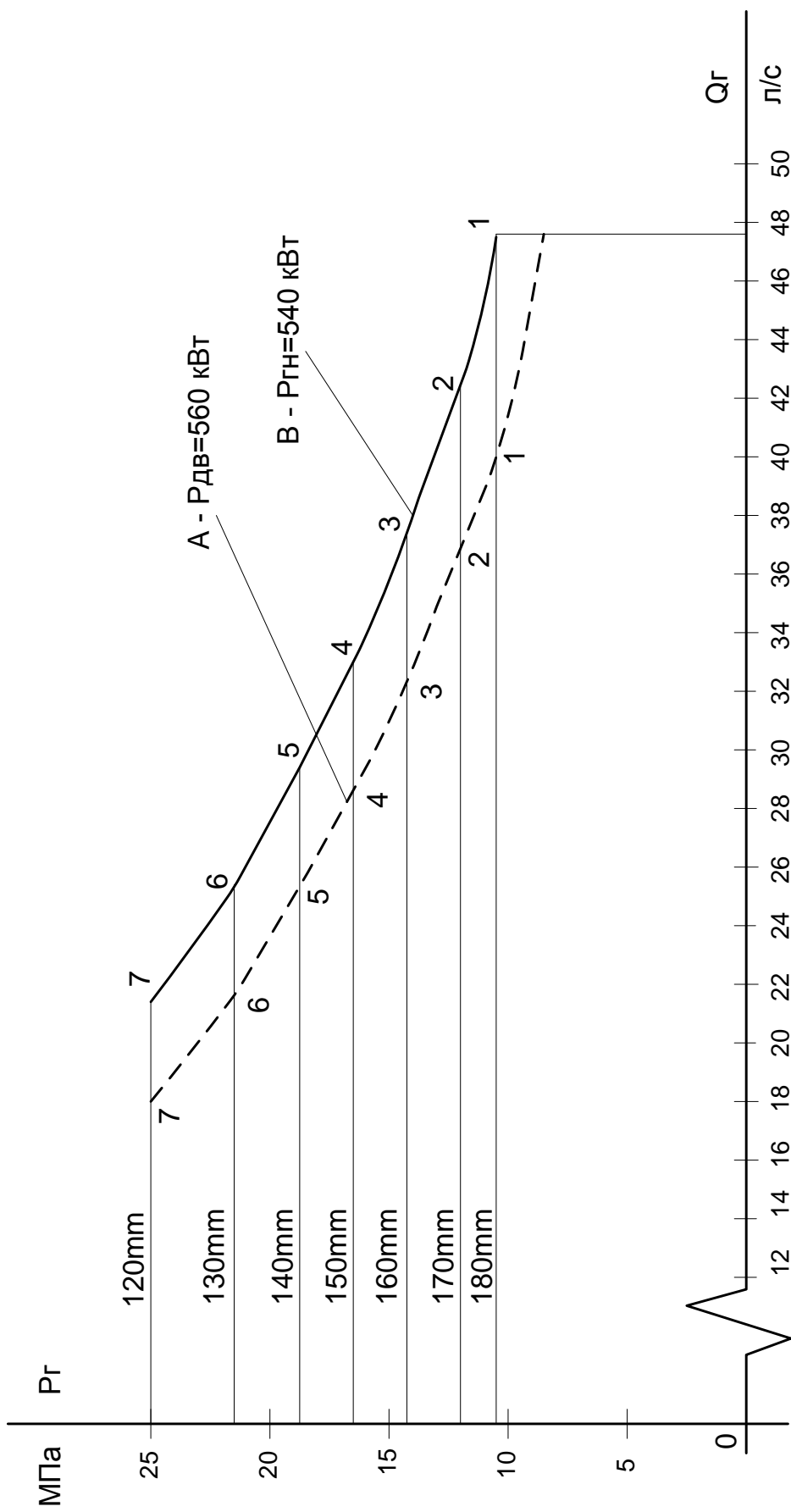


Рисунок 6 – Рабочие характеристики насоса для разных диаметров втулок: А – предельная характеристика при РДВ=560 кВт; В – предельная характеристика при РГН=540 кВт

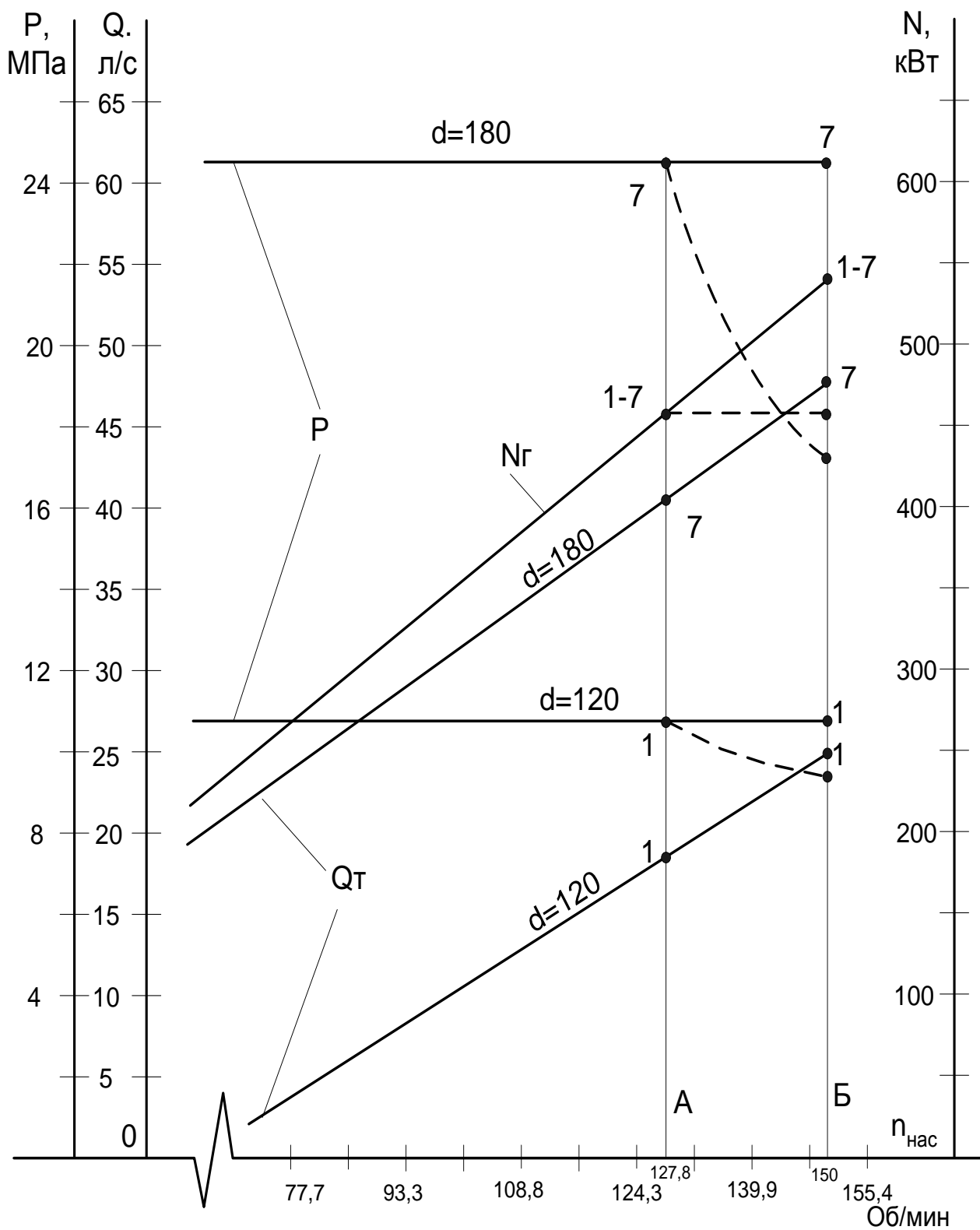


Рисунок 7 – Расчетные характеристики насоса

$P_{\text{двмакс}} = N_{\text{ГН}} / \eta_{\text{рем}} \cdot \eta_{\text{нас}} = 540 / 0,95 \cdot 0,849 = 669,5$ 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

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

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 $n_{\text{А}} = 822$ 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	$n_{МАХ}$	1000
Момент инерции якоря, кг·м ²	J_D	40
Сопротивление обмотки якоря при 15°C, мОм	$R_{ОЯ}$	7,29
Сопротивление дополнительных полюсов при 15°C, мОм	$R_{ДП}$	1,98
Сопротивление компенсационной обмотки при 15°C, 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.

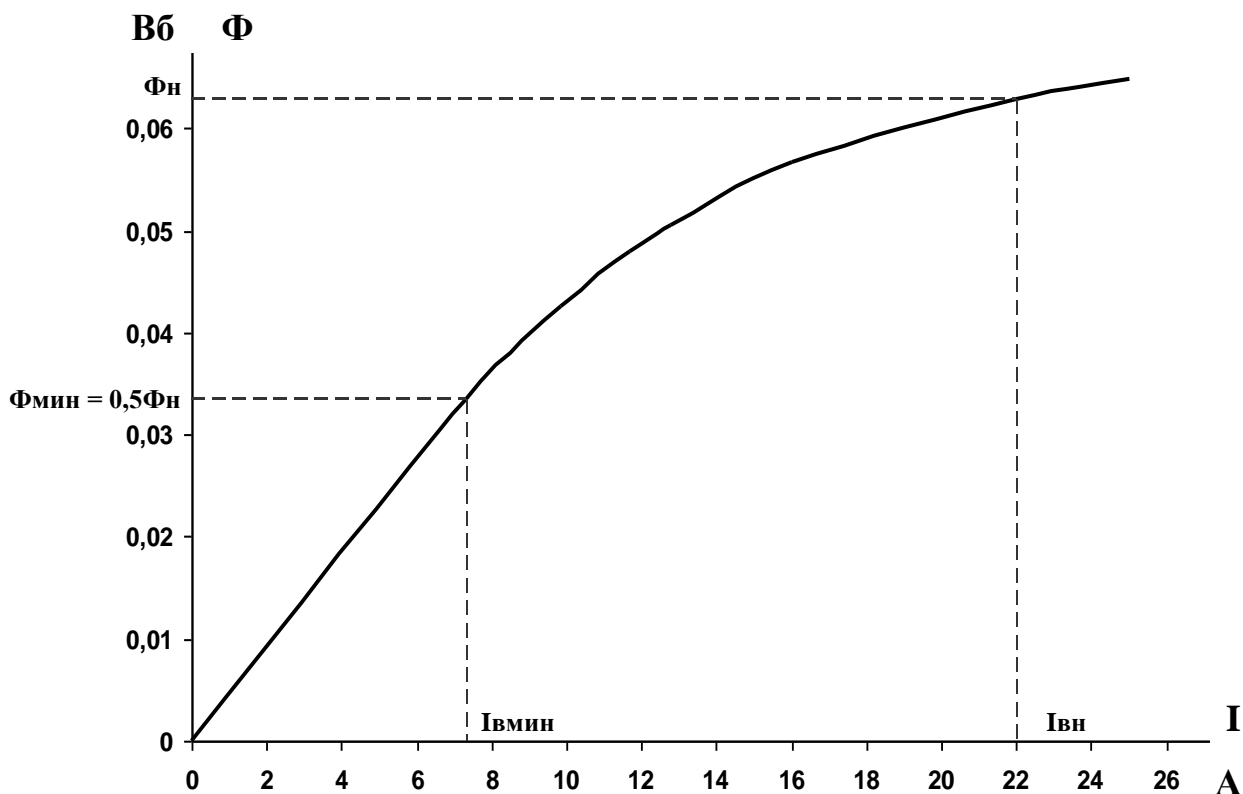


Рисунок 8 - Кривая намагничивания двигателя МПЭ-500-500

2.4 Расчетные параметры двигателя

Номинальный ток двигателя

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

Номинальная угловая скорость

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

Максимальная угловая скорость двигателя

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

Номинальный момент двигателя

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

Индуктивность двигателя

$$L_{\text{дв}} \cong \gamma \cdot \frac{U_{\text{двн}}}{p \cdot \omega_{\text{двн}} \cdot I_{\text{двн}}} = 0,15 \cdot \frac{440}{2 \cdot 52,3599 \cdot 1370} = 0,00046 \text{ Гн}$$

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

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

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

Коэффициент ЭДС $\left(\frac{B \cdot c}{\text{рад}} \right)$ и электромагнитного момента $\left(\frac{H \cdot m}{A} \right)$ при

номинальном потоке возбуждения

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

Конструктивный коэффициент двигателя

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

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)

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

- в точке номинального режима работы (минимальное значение)

$$L_{овмин} = 2 \cdot p \cdot W_{\epsilon} \cdot \frac{\Delta\Phi_H}{\Delta I_{вн}} = 4 \cdot 320 \cdot \frac{0,012}{11} = 1,4 \text{ Гн},$$

- усредненное значение на рабочем участке ($\Phi_{мин} \div \Phi_H$)

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

- индуктивность потока рассеяния

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

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

- сопротивление обмотки возбуждения горячее

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

2.6 Механическая система привода насоса

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

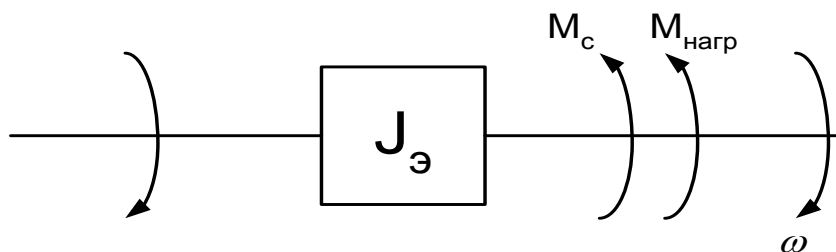


Рисунок 9 – Расчетная схема ОМС электропривода насоса

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;

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

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

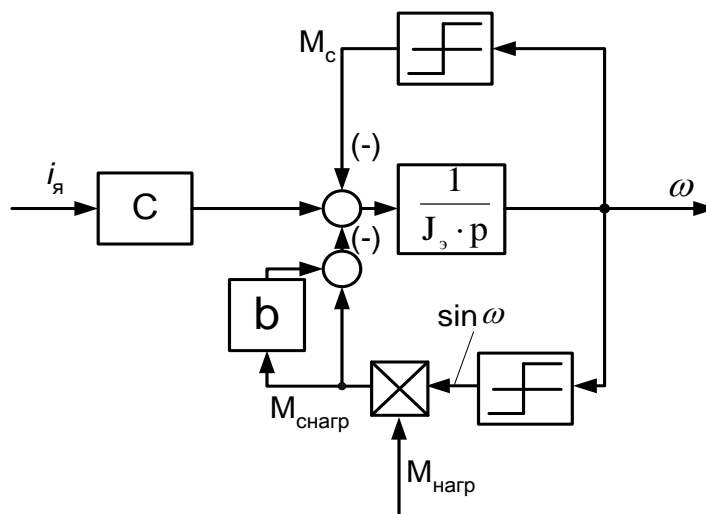


Рисунок 10 – Структурная схема ОМС электропривода насоса.

2.7 Параметры ОМС привода насоса

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

$$J_3 = (1,15 \div 1,25) J_{дв} = 1,25 \cdot 40 = 50 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Момент сопротивления сил трения на валу электродвигателя

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

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

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

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

a – коэффициент постоянных потерь в передаче,

v – коэффициент переменных потерь в передаче.

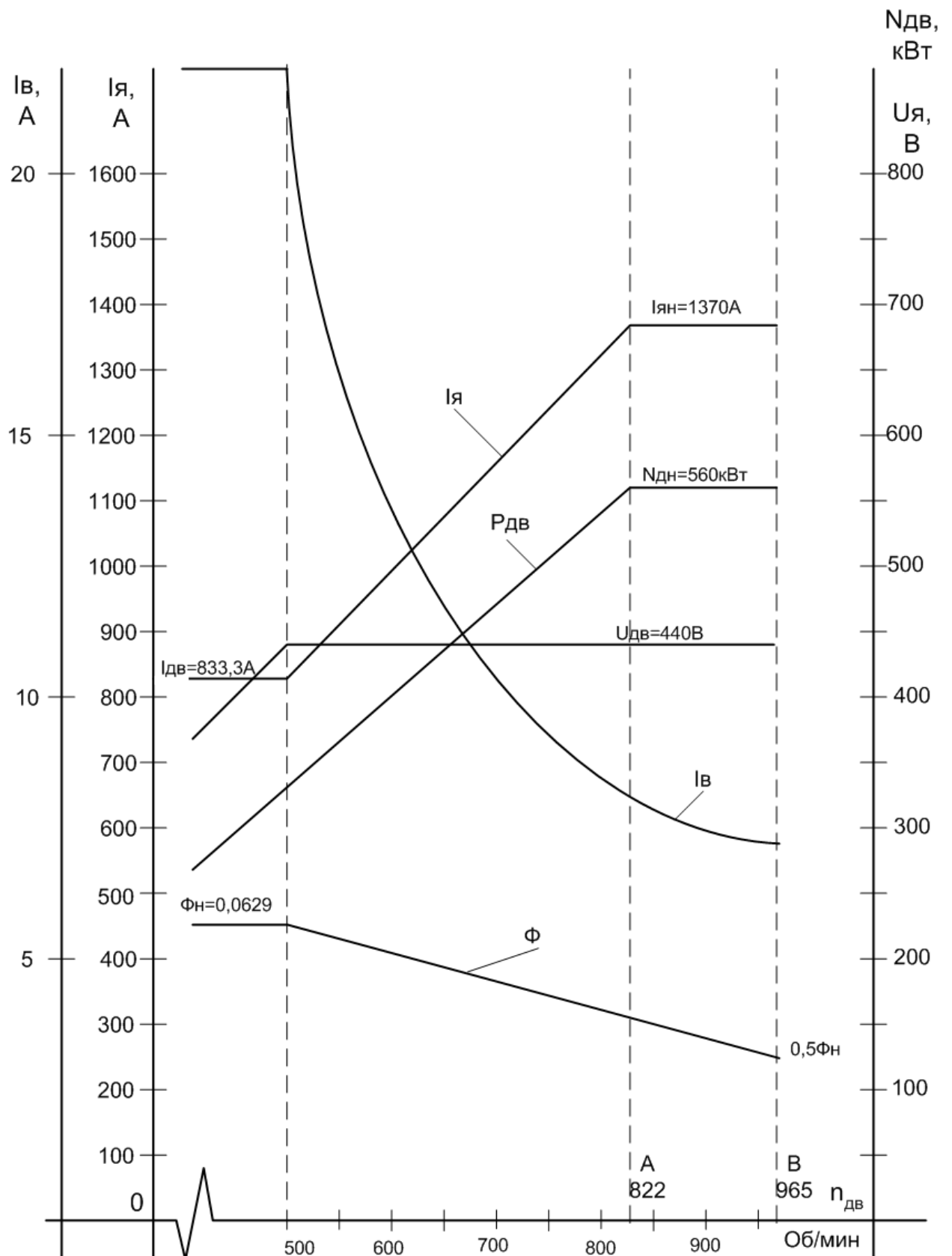


Рисунок 11 – Расчетные характеристики электропривода насоса

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

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

$$\omega_{насн} = \frac{\pi \cdot n_{нас}}{30} = \frac{3,14 \cdot 150}{30} = 15,7 \text{ рад/с} - \text{номинальная угловая скорость}$$

насоса.

Момент на валу насоса приведенный к валу двигателя определяется выраже-

$$\text{нием } M_{нас} = \frac{N_2}{\omega_{нас} \cdot i_{пер}} .$$

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.

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

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

Параметры механической системы:

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

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

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

$$\omega = 0,12$$

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:

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

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;
- $U_{дн} = 460 \text{ В}$;
- $I_{дн} = 1600 \text{ А}$;
- $I_{дмакс} = 2,25 \cdot I_{дн} = 3600 \text{ А}$ - в течение 10 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.).

2.9Выбор трехфазного токоограничивающего реактора.

Необходимое значение полного сопротивления обмотки фазы реактора

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

где $I_{\text{фрасч}} = k_{i2\text{ф}} \cdot k_i \cdot \frac{I_{\text{ДВН}}}{2} = 0,815 \cdot 1,05 \cdot \frac{1370}{2} = 586,2 \text{ А}$ – расчетный

фазный ток одной группы вентиляей;

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

$U_{\text{кз}}$ - напряжение короткого замыкания реактора, принимаем

$$U_{\text{кз}} = 5,5\%.$$

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

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

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

$$U_{\text{Л}} = 410 \text{ В};$$

$$I_{\text{фн}} = 660 \text{ А};$$

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

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

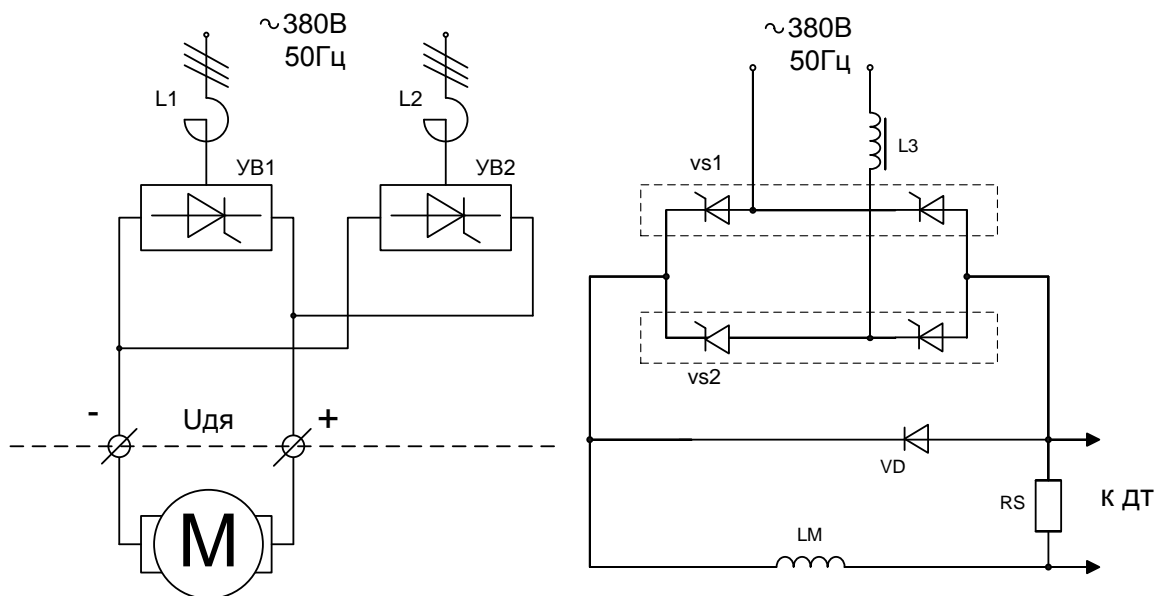


Рисунок 13 – Схема электрическая силовой цепи привода насоса

Индуктивное сопротивление обмотки фазы реактора

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

Активное сопротивление силовой цепи выпрямителя

$$R_K = \frac{m_b \cdot X_{\text{фрасч}}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 20,096 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14} = 0,019190266 \text{ Ом}$$

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

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

$$\text{где } R_{\text{ТП}} = \left(\frac{2 \cdot R_{\text{рф}} + R_K}{2} \right) = \left(\frac{2 \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} + 19 \cdot 10^{-3}}{2} \right) = 11,6 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$$

- сопротивление силовой цепи преобразователя.

Индуктивность якорной цепи

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

$$\text{где } L_{\text{ТП}} = \frac{2 \cdot L_{\text{рф}}}{2} = \frac{2 \cdot 0,64 \cdot 10^{-4}}{2} = 0,64 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} - \text{индуктивность сило-}$$

вой цепи преобразователя.

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи

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

Максимальное значение граничного тока зоны прерывистых токов для якорной цепи

$$I_{\text{дгрмакс}} = \frac{1}{\omega_c} \cdot K_{\text{грмакс}} \cdot \frac{U_{\text{сф}}}{K_{\text{u2}} \cdot L_{\text{яц}}} = \\ = \frac{1}{3,14} \cdot 0,093 \cdot \frac{220}{0,428 \cdot 0,524 \cdot 10^{-3}} = 290,5 \text{ А},$$

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

$K_{u2} = 0.428$ - расчетный коэффициент напряжения для трехфазной мостовой схемы. Что в относительных единицах составляет

$$\frac{I_{дгр\max}}{I_{двн}} = \frac{290,5}{1370} = 0,212.$$

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

$$P(1)\% = \frac{E_{d(1)\max} \cdot 100}{m_B \cdot \omega_c \cdot I_H \cdot L_{яц}} = \frac{124,6 \cdot 100}{6 \cdot 314 \cdot 1370 \cdot 0,524 \cdot 10^{-3}} = 9,21\%,$$

$$\text{где } E_{d(1)\max} = \frac{U_{сн} \cdot \sqrt{2} \cdot m_B}{K_{u2} \cdot (m_B^2 - 1)} = \frac{220 \cdot \sqrt{2} \cdot 6}{0,428 \cdot (6^2 - 1)} = 124,6\text{В}$$

- 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

$$T_M = \frac{J_{\mathcal{E}} \cdot R_{яц}}{(K \cdot \Phi_{дв})^2}.$$

При номинальном потоке возбуждения двигателя

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

При минимальном потоке возбуждения двигателя

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

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.

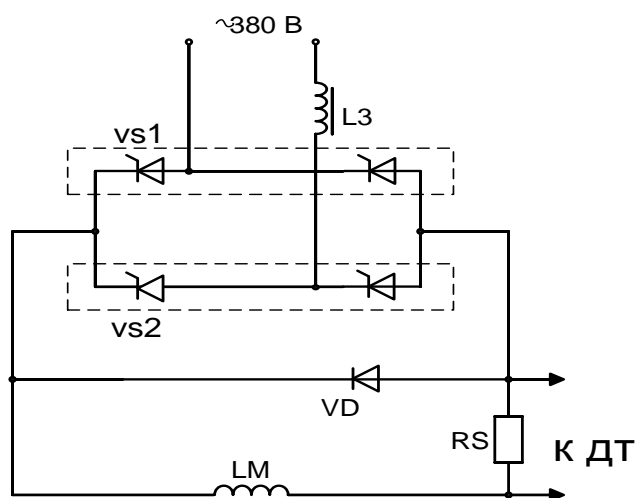


Рисунок 14 - Схема тиристорного возбудителя

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

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

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

будителя, 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 $R_p \approx 0$ определим индуктивное сопротивление и индуктивность обмотки реактора

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

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

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

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;

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

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

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

Максимальное значение коэффициента усиления тиристорного возбудителя

$$K_{ТПВ макс} = \frac{\pi \cdot E_{доc}}{U_{упв макс}} \cdot \frac{\alpha_{нач} - \alpha_{мин}}{180^\circ} = \frac{3,14 \cdot 342}{10} \cdot \frac{150^\circ - 30^\circ}{180^\circ} = 71,5.$$

Регулировочная характеристика возбудителя имеет вид (см. рисунок 15)

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

Постоянная времени тиристорного возбудителя

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

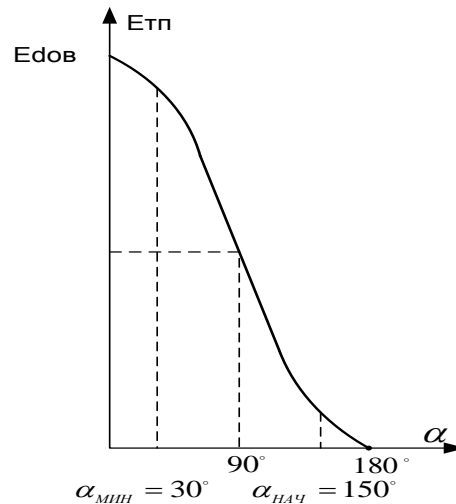


Рисунок 15 - Регулировочная характеристика возбудителя

Коэффициент передачи датчика тока возбуждения

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

2.12 Расчет параметров цепи обмотки возбуждения двигателя

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

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

Постоянная времени основного потока обмотки возбуждения

$$T_{\sigma} = \frac{L_{ов}}{R_{цв}} = \frac{5,12}{7,865} = 0,651 \text{ с}$$

где $L_{ов}$ принимаем равной $L_{овср} = 5,12 \text{ Гн.}$

Постоянная времени потока рассеяния обмотки возбуждения

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

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

Постоянная времени контура вихревых токов

$$T_k \cong 0,1 \cdot T_{\sigma} = 0,0651 \text{ Гн.}$$

Цепь обмотки возбуждения представим в виде передаточной функции

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

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

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

$$T_{1,2} = \frac{0,651 + 0,089 + 0,0651}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{0,651 + 0,089 + 0,0651}{2}\right)^2 - 0,089 \cdot 0,0651} =$$

$$= 0,40255 \pm 0,39529 \text{ с,}$$

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

Минимальный угол управления преобразователем якорной цепи при пониженном напряжении сети

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

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

принимаем $\alpha_{\min} = 6^\circ$.

Предельная электромеханическая характеристика привода при α_{\min} и

$\Phi_{\text{двном}}$

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

Результаты расчетов сведены в таблицу 2.

Таблица 2.

		K _{ис} =0.9		
Φ _{дв} =0,11	I _{дв} А	0	I _{двн} 1370	I _{двмакс} 3425
	ω _{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
	ω _{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
	ω _{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
	ω _{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.

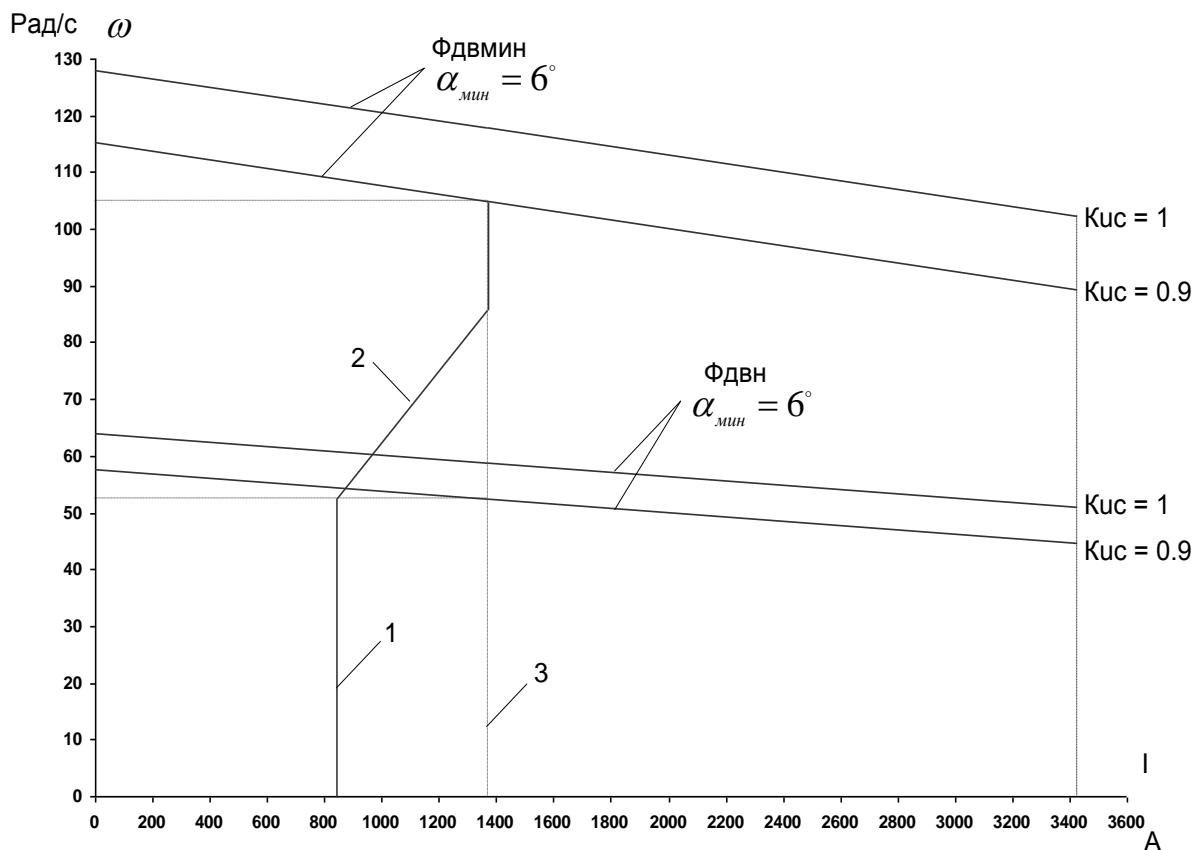


Рисунок 16 - Область допустимой работы электропривода насоса

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:

$$\omega = \frac{E_d - I_d \cdot R_{яц} - \Delta U_{\epsilon}}{c},$$

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

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

ΔU_{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:

$$\alpha(\omega) = \arccos \left(\frac{\omega \cdot c + I_d \cdot R_{яц} + \Delta U_{\epsilon}}{E_{d0}} \right).$$

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

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

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 вы-

прямленного 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 полу волны синусоиды фазной ЭДС:

$$\theta_0(\alpha) = \frac{180}{\pi} \cdot \left(\alpha(\omega) + \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m_g} \right) \right).$$

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

$$e(\alpha) = \cos\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \frac{\sin\left(\left(\theta_0(\alpha) - \theta\right) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \sin\left(\left(\theta_0(\alpha) + \lambda - \theta\right) \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot e^{\frac{\lambda \cdot \pi}{180} \cdot \cot\left(\frac{\theta \cdot \pi}{180}\right)}}{1 - e^{\frac{\lambda \cdot \pi}{180} \cdot \cot\left(\frac{\theta \cdot \pi}{180}\right)}}$$

где угол $\lambda = \frac{2 \cdot 180}{m_g} = 60$ град – угол проводимости тиристоры;

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

$$\theta = \arctan\left(\frac{\omega_0 \cdot L_{яц}}{R_{яц}}\right) \cdot \frac{180}{\pi}.$$

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

$$i(\alpha) = \frac{m_g}{2 \cdot \pi} \left(\cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \cos\left(\left(\lambda + \theta_0(\alpha)\right) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot e_{sp}(\alpha) \right),$$

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

$$\omega(\alpha) = e(\alpha) \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{\pi}{2}\right) - \Delta U_6}{c},$$

$$I(\alpha) = i(\alpha) \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{\pi}{2}\right)}{R_{яц}}.$$

Если в приведенных выражениях задавать угол открытия тиристоров α (в диапазоне $0 \dots 180$) и угол проводимости λ ($0 \dots 60$), то получим семейство электромеханических характеристик в зоне прерывистых токов. Электромеханические характеристики системы УВ-Д построены в программе MathCad и представлены на рис. 17:

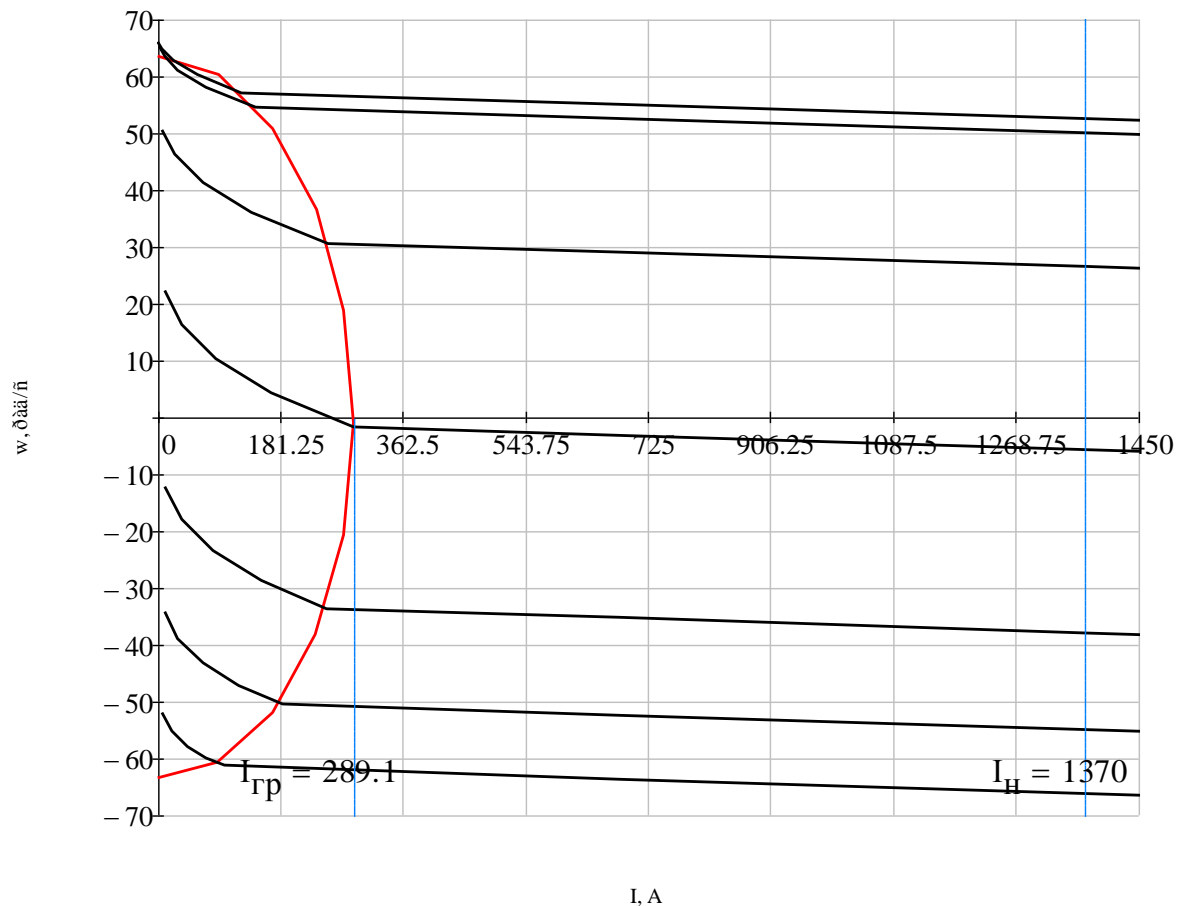


Рисунок 17 – Электромеханические характеристики системы УВ-Д с раздельным управлением

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.

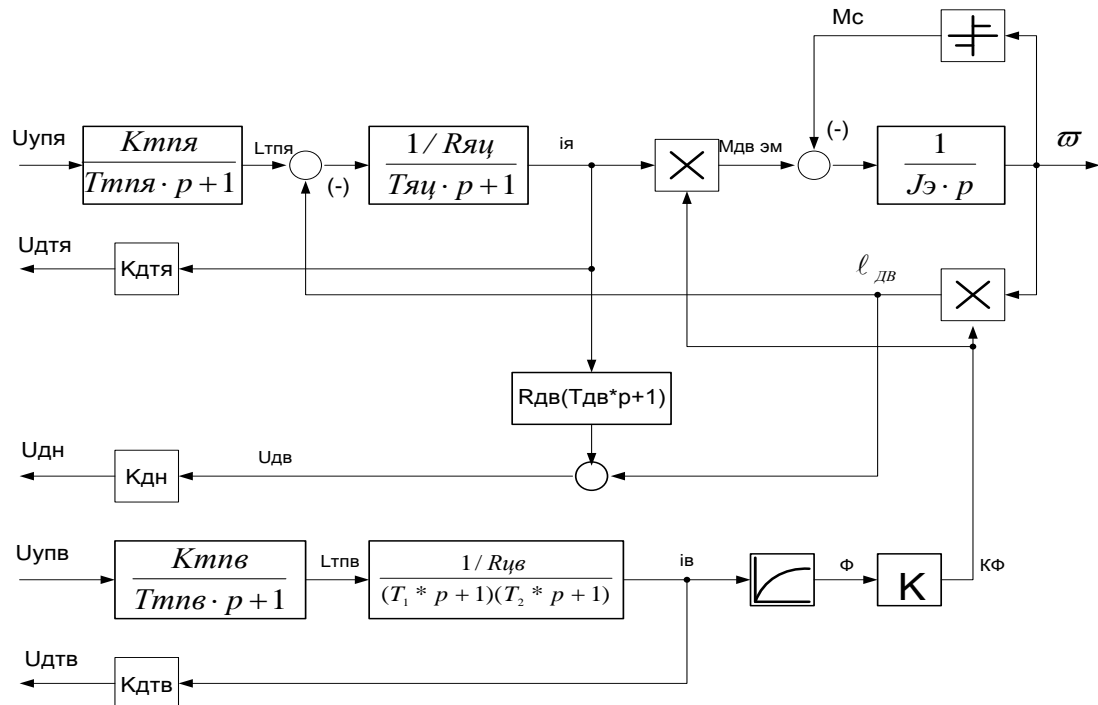


Рисунок 18 - Структурная схема силового канала электропривода.

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

$K_{\text{тпн}}$	$T_{\text{тпн}},$ 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	$K_{\text{дтн}},$ 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.

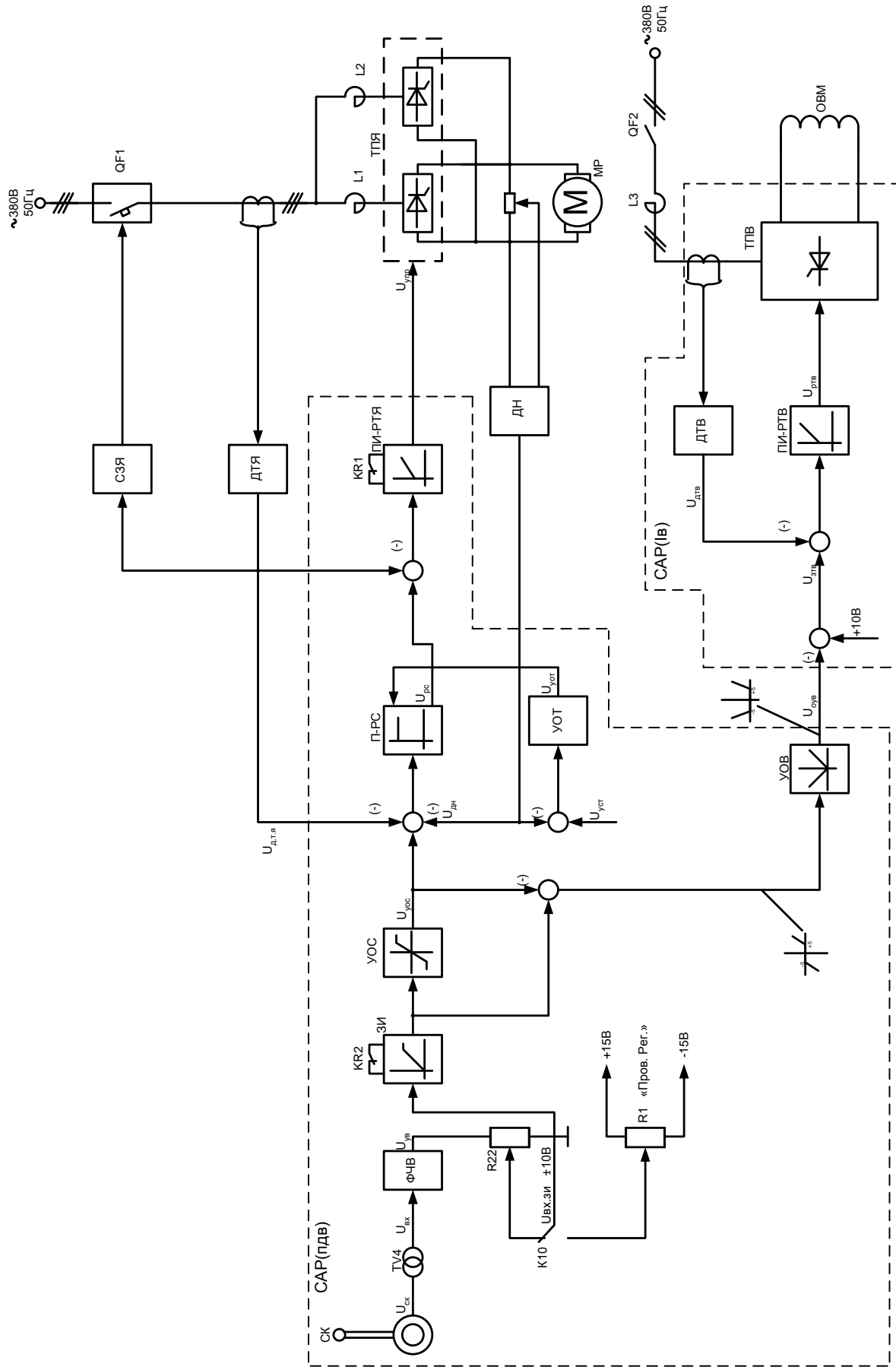


Рисунок 19 - Функциональная схема электропривода насоса

Электропривод бурового насоса выполнен по системе ТП-Д постоянного тока, предусматривает двухзонное регулирование скорости и состоит из нереверсивных 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 по-

следнего 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 $U_{вх}$ в диапазоне от 0 до 5В регулирование скорости происходит за счет увеличения напряжения двигателя $U_{дв}$ в диапазоне от 0 до номинального значения $U_{двн}$. При этом сигнал на выходе УОВ равен 0.

Увеличение сигнала $U_{вх}$ 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 $U_{вх}$ 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

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

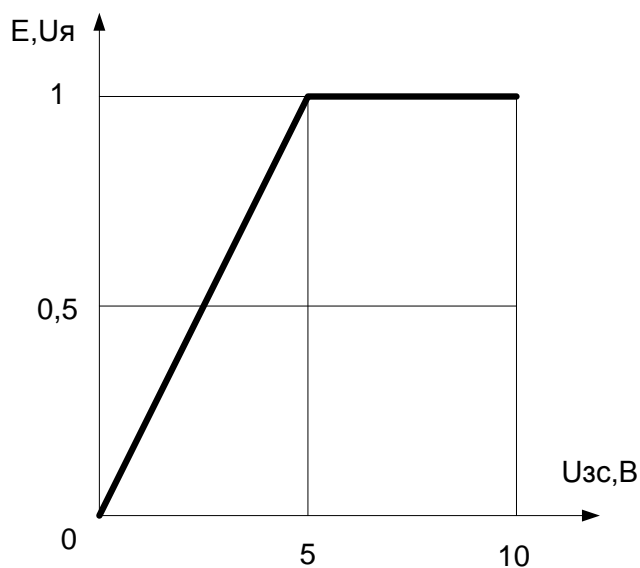
Требуемую зависимость $I_{эп макс} (\omega_{дв})$ формирует устройство ограничения тока УОТ в функции напряжения на двигателе (рисунок 21, характеристика 2).

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

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

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

Контур регулирования тока возбуждения настраивается таким образом, чтобы номинальный ток возбуждения $I_{вн} = 22 \text{ А}$, достигался при $U_{зтв} = 10 \text{ В}$. Коэффициенты входной цепи РТВ для цепи от УОВ подбираются таким образом, чтобы при $U_{вх зи} = 10 \text{ В}$ минимальный ток возбуждения двигателя был бы равен $I_{в мин} \approx 7,5 \text{ А}$. Скорость двигателя при этом должна иметь значение $n_{дв макс} \approx 1000 \text{ об/мин}$, а напряжение на двигателе $U_{дв} = 440 \div 460 \text{ В}$. Темп разгона приводного двигателя насоса должен быть ограничен. Время пуска до максимальной скорости $n_{дв макс}$ не должно быть менее 4 с .



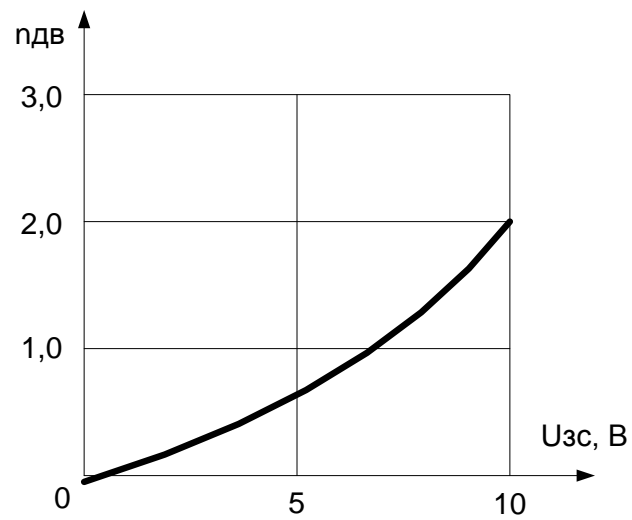
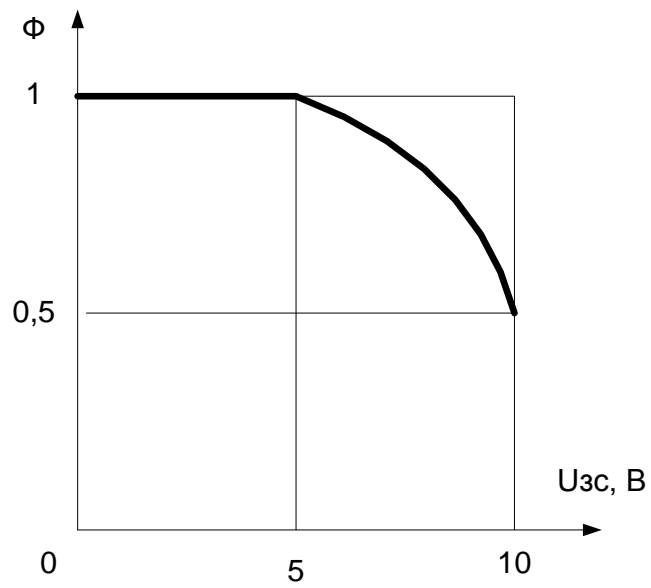
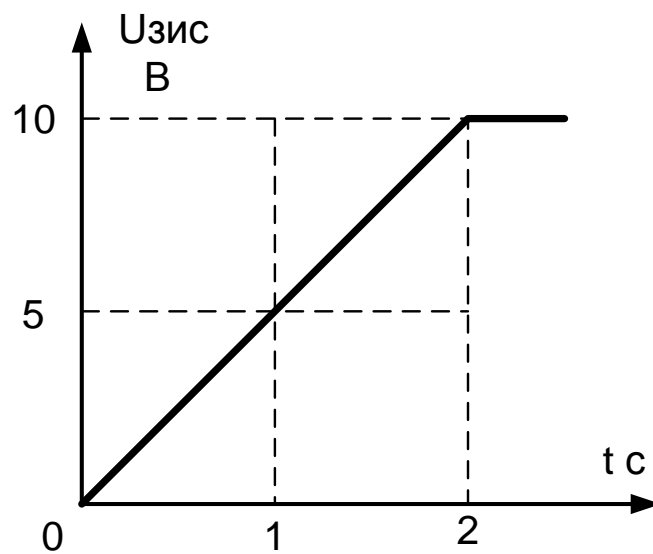


Рисунок 20 - Характеристики системы двухзонного регулирования с ручным управлением возбуждением



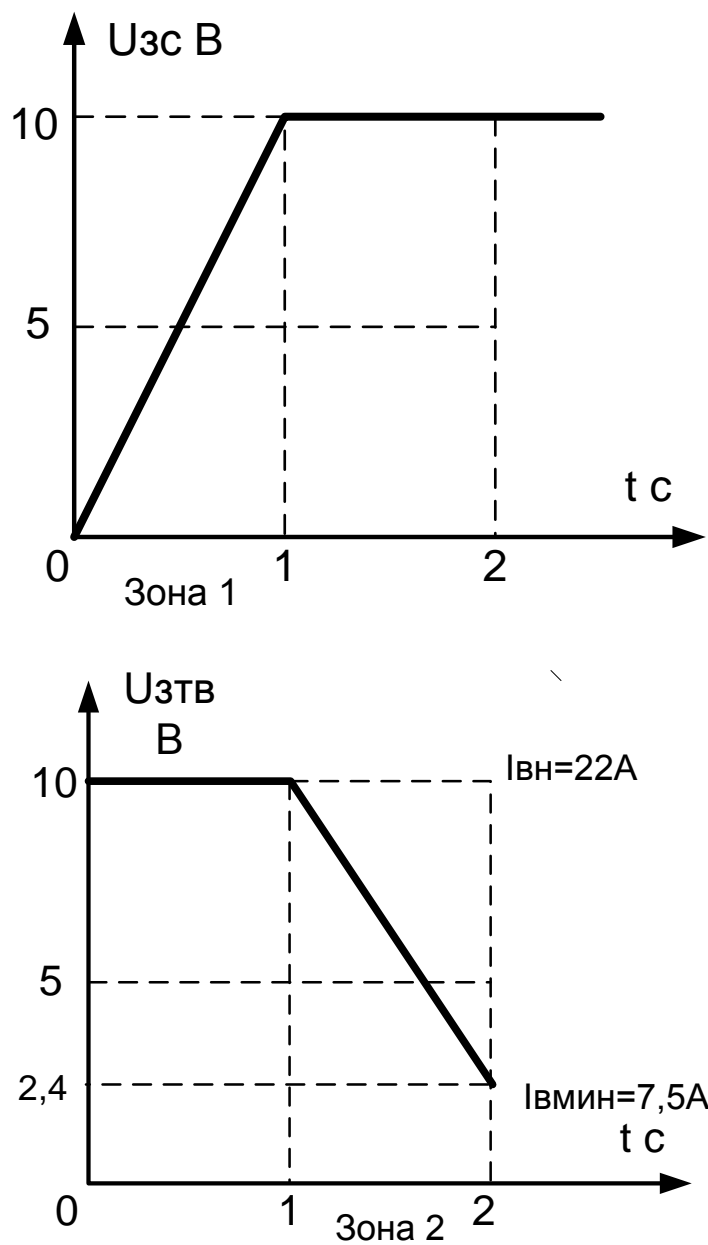


Рисунок 21 - Характеристики сигналов управления скоростью и потоком двигателя

3.2 Структурная схема САР скорости электропривода насоса

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

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.

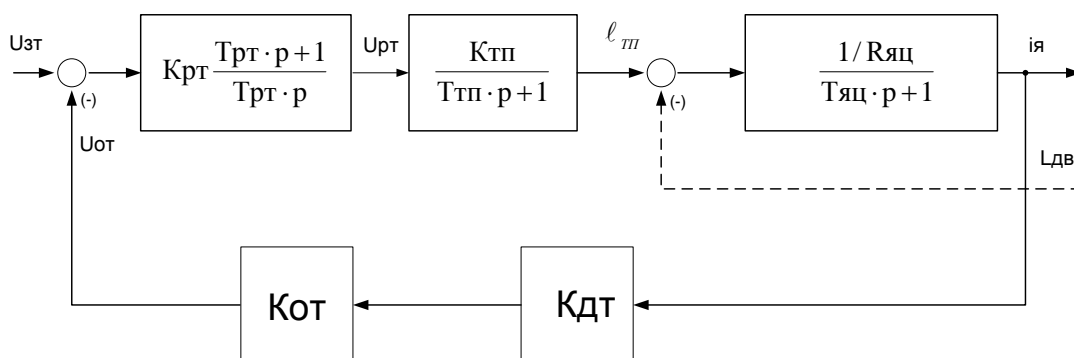


Рисунок 23 - Структурная схема контура тока

Контур содержит два инерционных звена первого порядка с постоянными времени

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

значительно больше единицы, следовательно принимаем:

- $T_{\mu} = T_{тп} = 0,00167 \text{ с}$ –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

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

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

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

- коэффициент усиления регулятора

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

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 PT

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

Влияние ЭДС двигателя на работу контура тока оценивается отношением постоянных времени

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

Передаточная функция разомкнутого контура тока

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

Передаточная функция замкнутого контура тока

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

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура тока:

$\delta = 4,3\%$ - перерегулирование,

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

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

при обработке ступенчатого управляющего задания,с;

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

ания по модулю и фазе или

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

$\Delta I_{y,уст} = 0$ - установившаяся ошибка отработки входного воздействия.

3.4 Оптимизация контура ЭДС двигателя

Структурная схема контура ЭДС приведена на рисунке 24.

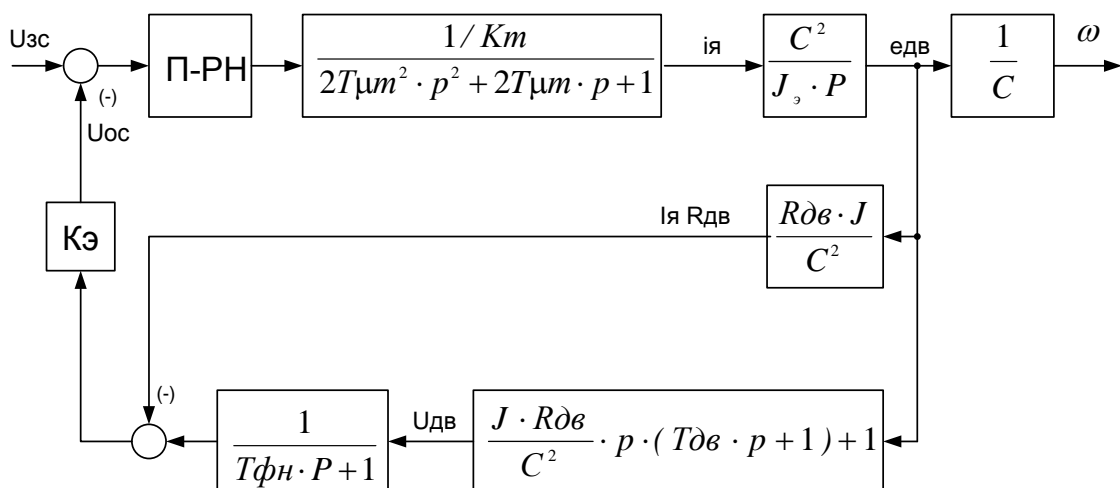


Рисунок 24 - Структурная схема контура ЭДС

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

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

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

- коэффициент обратной связи по ЭДС двигателя;

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

- номинальное значение ЭДС двигателя;

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

Вариант $T_{\text{фн}}=0$

$$T_{\varepsilon} = 2 \cdot T_{\mu\varepsilon} = 2 \cdot 0,015225 = 0,03045 \text{ с},$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\frac{T_{\mu\mathcal{E}}}{2 \cdot T_{\mu\mathcal{T}}} = \frac{0,015225}{2 \cdot 0,00167} = 4,56.$$

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

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

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

Ожидаемые показатели работы контура:

$\delta = 4,3\%$ - перерегулирование,

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

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

$$\omega_{\Pi^{(\Phi)}} = \omega_{\Pi^{(M)}} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot T_{\mu\mathcal{E}}} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0,0152} = 46,52 \text{ рад/с}$$

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

$$\Delta\omega_{\text{в уст}} = \frac{T_{\mathcal{E}} \cdot \Delta M_C}{J_{\mathcal{E}}} = \frac{0,03045 \cdot 6641,2}{50} = 4,04 \text{ рад/с} - \text{установившееся}$$

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

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

$$K_{\text{он}} = \frac{K_{\mathcal{E}}}{K_{\text{дн}}} = \frac{0,024}{0,02} = 1,2$$

- отрицательной обратной связи по напряжению;

$$K_{\text{от}} = R_{\text{двгор}} \frac{R_{\text{дн}}}{K_{\text{дтя}}} \cdot K_{\text{он}} = 0,0166 \cdot \frac{0,02}{0,00333} \cdot 1,2 = 0,12$$

- положительной обратной связи по току.

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

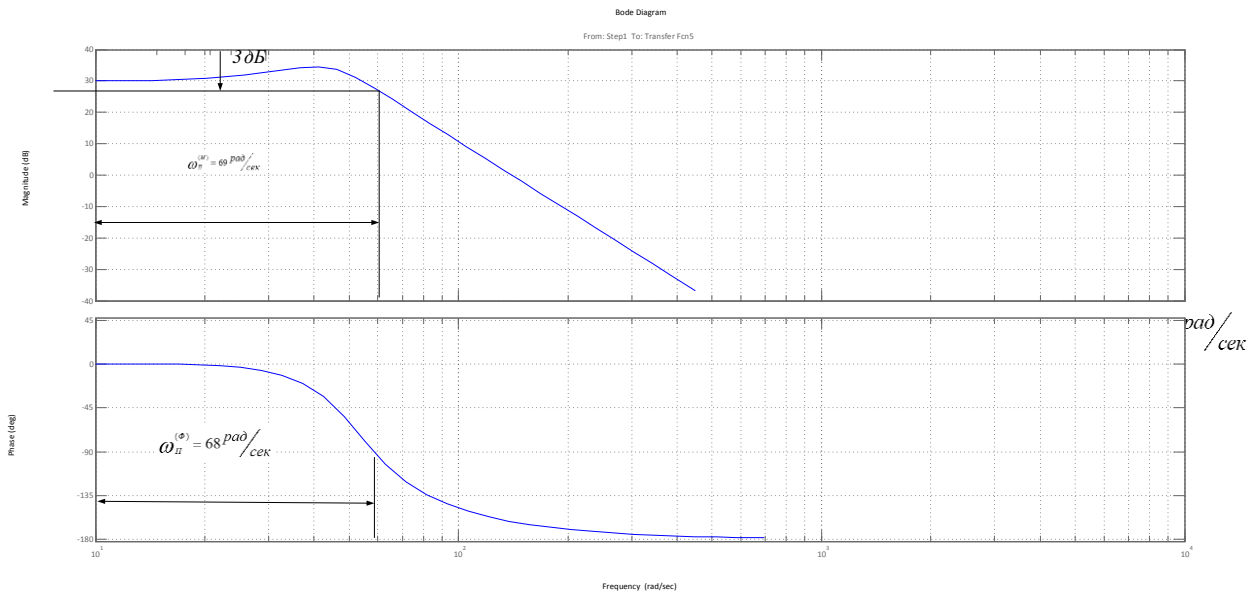


Рисунок 25 – ЛЧХ замкнутого контура ЭДС

По частотным характеристикам определили полосу пропускания контура по модулю и фазе

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

или

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

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.

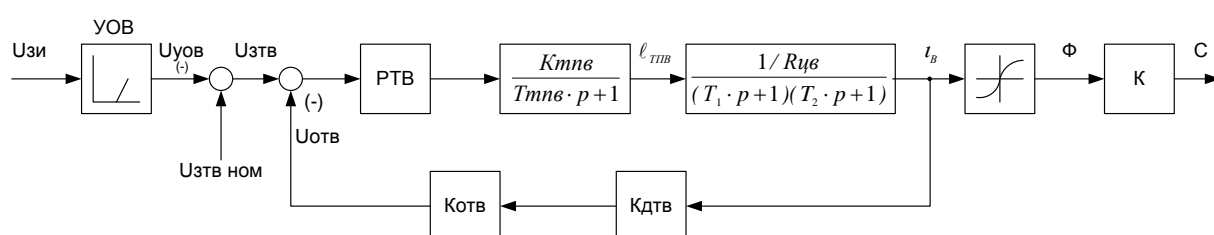


Рисунок 26 - Структурная схема САР потока возбуждения электродвигателя привода насоса

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

$$T_1 \gg (T_{птв} + T_2).$$

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

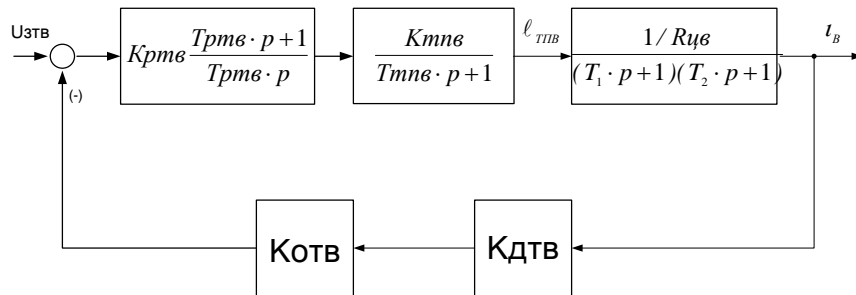


Рисунок 27 - Структурная схема контура тока возбуждения двигателя

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

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

$$\text{где } K_{\text{РТВ}} = \frac{R_{\text{цВ}} \cdot T_1}{K_{\text{ТПВ}} \cdot K_{\text{ТВ}} \cdot a_{\text{ТВ}} \cdot T_{\mu\Gamma\Gamma\text{В}}} = \frac{7,865 \cdot 0,7978}{71,52 \cdot 0,4545 \cdot 2 \cdot 0,248} = 0,389$$

- 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

$$W(p)_{\text{ТВзам}} = \frac{1/K_{m\Gamma\Gamma\text{В}}}{a_{\text{ТВ}} \cdot T_{\mu\Gamma\Gamma\text{В}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{ТВ}} \cdot T_{\mu\Gamma\Gamma\text{В}} \cdot p + 1} =$$

$$= \frac{1/0,45}{2 \cdot 0,012262^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,012262 \cdot p + 1} = \frac{2,222}{0,0003 \cdot P^2 + 0,0245 \cdot p + 1}$$

Показатели качества работы контура:

$\delta = 4,3\%$ - перерегулирование;

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

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

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

$\Delta I_{\delta \dot{n}} = 0$ - установившаяся ошибка обработки 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

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

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

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

- 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 нереверсивный тиристорный преобразователь, который имеет одностороннюю проводимость групп вентилей, 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;

$e_{2m} = \sqrt{2} \cdot \dot{A}_{2\text{Э}} = \sqrt{2} \cdot 380 = 537,4 \text{ В}$ – амплитуда питающего напряжения преобразователя;

преобразователя;

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

на входе СИФУ;

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

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

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

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

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	≥ 4	10	0,0366	6,732	± 10	10	0,02
$K_{ОТ1}$	$K_{ОН}$	$T_{ФН,*}$ с	$T_{Н1,*}$ с	$T_{Н2,*}$ с	$K_{РТ}$	$T_{РТ}$, с	$U_{РТ-МАКС}$, 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	C	$J_{Э},$ 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
$E_{до}$ В	$K_{ДТВ}$	$K_{ОТВ}$	K				
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	$K_{УО}$	$2U_{ОПмакс}$	$\alpha_{i\dot{E}f},$ град
98,4	6	537	ЛИН	0,611	10	6
$\alpha_{i\dot{A}E\dot{N}},$ град	$\alpha_{i\dot{A}x},$ град	$\varphi_{i\dot{A}x},$ 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 электр

опроводе 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

$$W(p)_{ФН} = \frac{T_{Н1} \cdot p + 1}{T_{Н2} \cdot p + 1}.$$

Экспериментально подобраны следующие значения параметров:

$$T_{Н1} = 0,03 \text{ с}, T_{Н2} = 0,02 \text{ с}, K_{РЭ} = 6 \div 8.$$

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

Переходные процессы практически всегда имеют апериодический характер (перерегулирование $\delta = 0$ %). Время переходного процесса полностью определяется постоянной задатчика интенсивности.

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

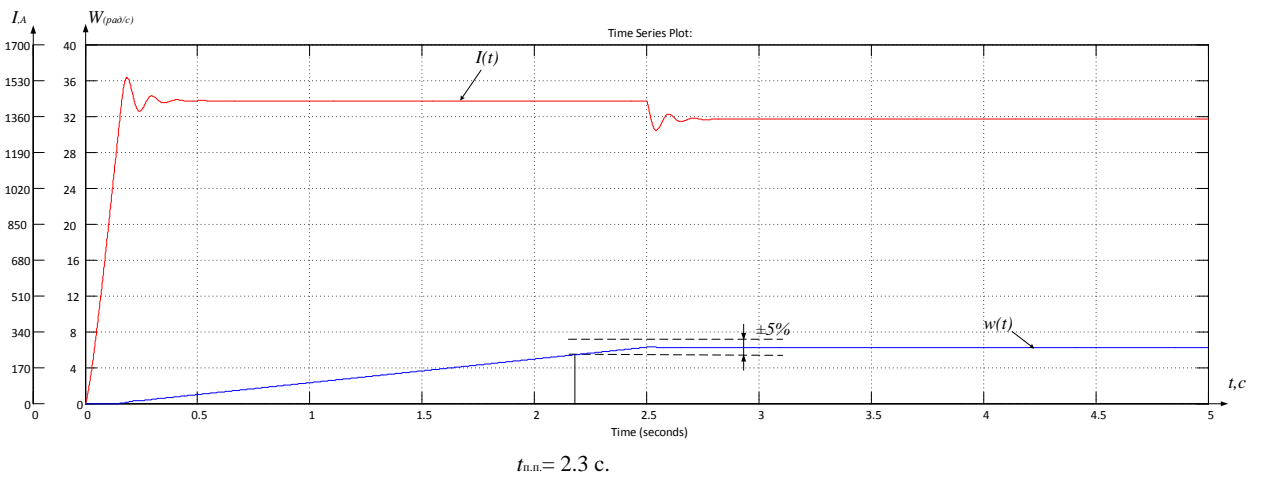


Рисунок 28 – Пуск электропривода при $U_{zc} = 1 \text{ В}$ и $M_c = 6270 \text{ Н}\cdot\text{м}$

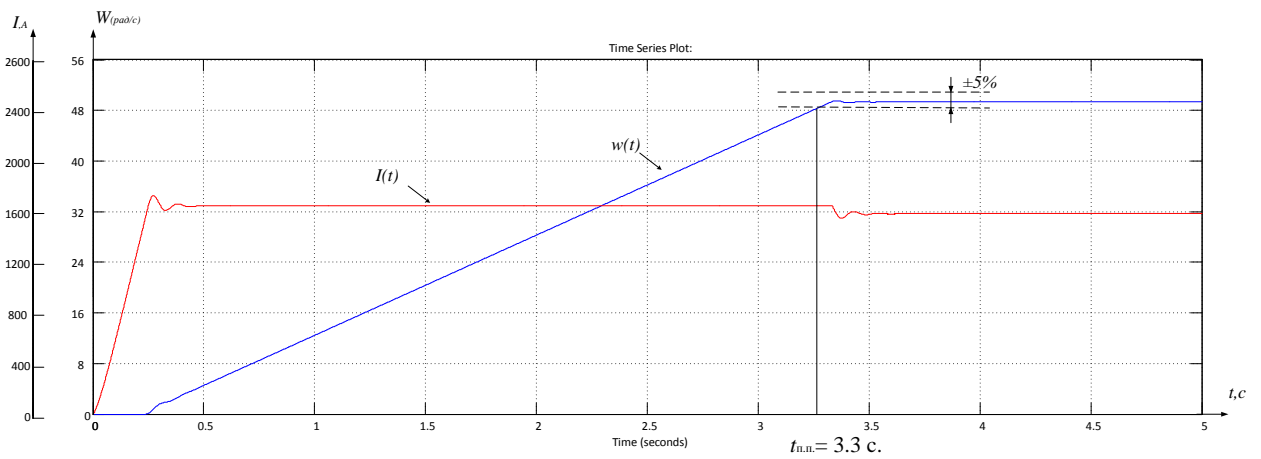


Рисунок 30 – Пуск электропривода при $U_{zc} = 10 \text{ В}$ и $M_c = 6270 \text{ Н}\cdot\text{м}$

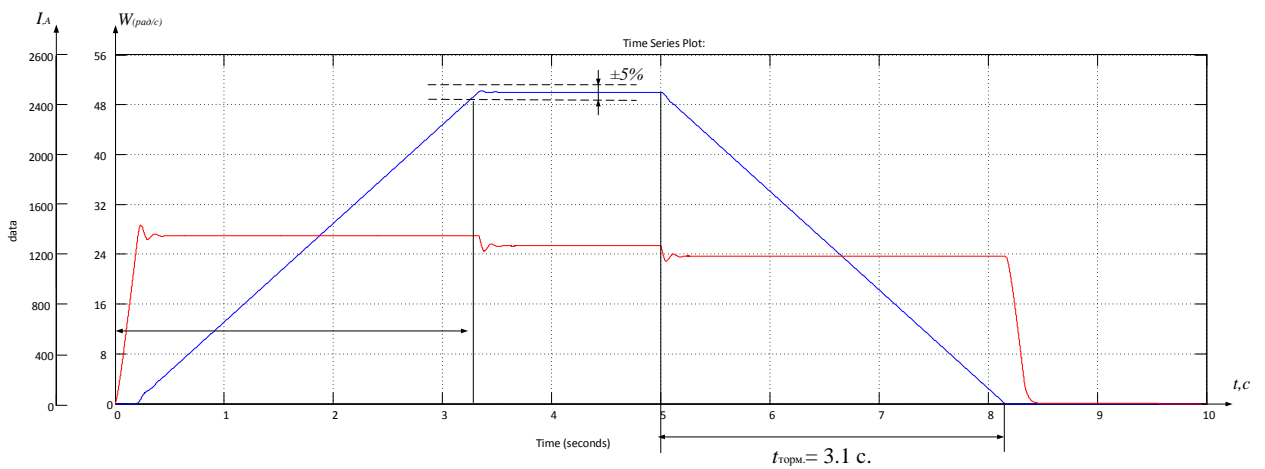


Рисунок 31 – Пуск и торможение электропривода при $U_{zc} = 10 \text{ В}$ и $M_c = 6270 \text{ Н}\cdot\text{м}$

4.4 Расчет статических характеристик электропривода

Структурная схема электропривода для режима стабилизации скорости (ЭДС) приведена на рисунке 36.

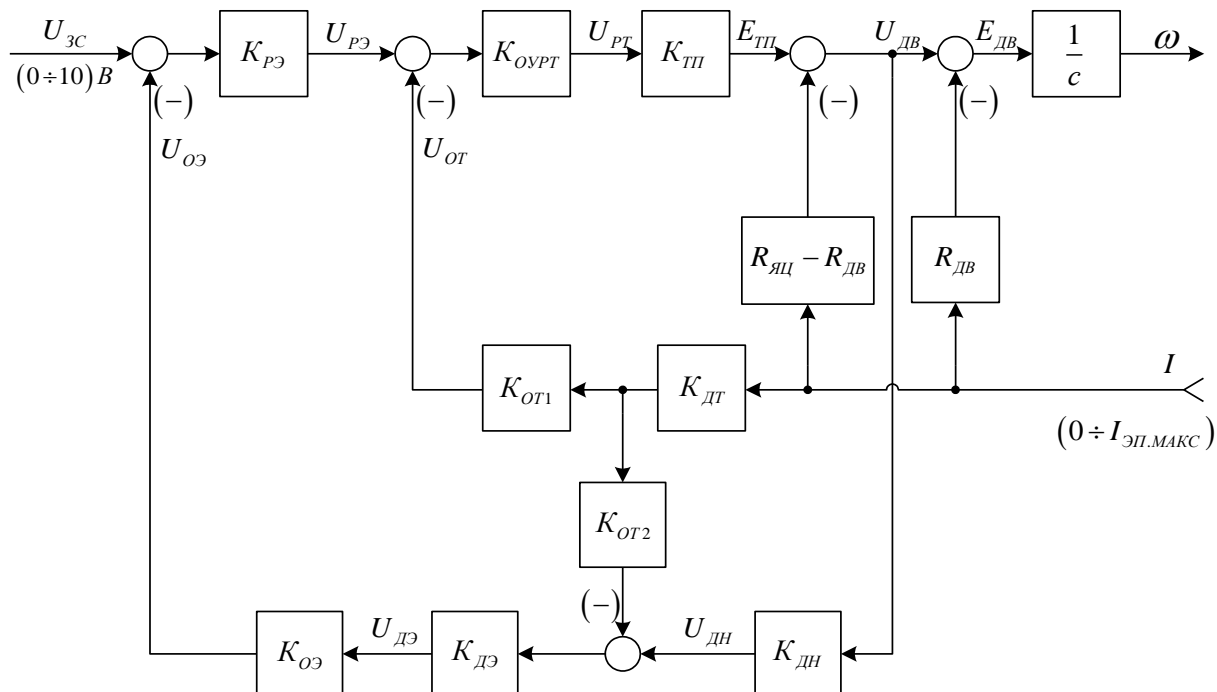


Рисунок 36 – Структурная схема электропривода для режима стабилизации скорости

Если настройка контуров выполнена в соответствии с изложенной ранее методикой, то схема рисунка 36 упрощается и принимает вид, приведённый на рисунке 37.

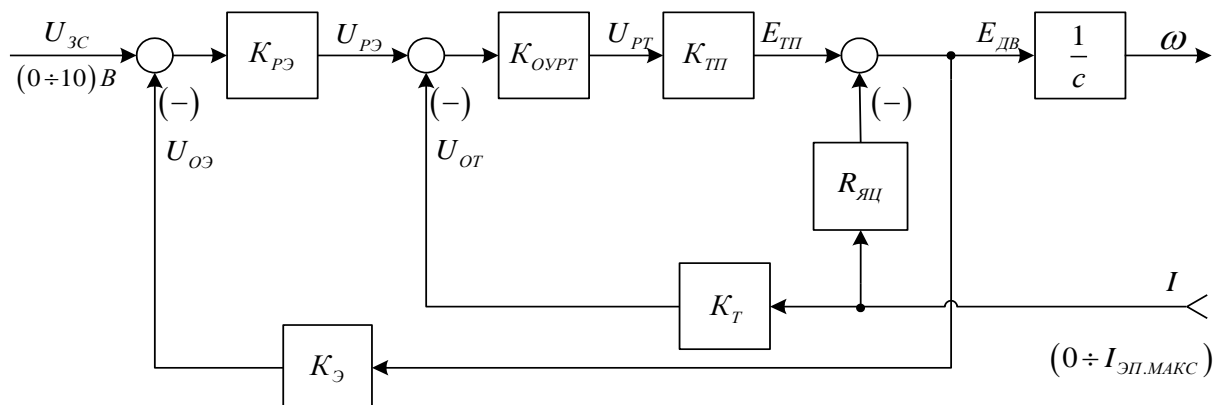


Рисунок 37 – Преобразованная структурная схема электропривода для режима стабилизации скорости

Схема рисунка 37 описывается следующей системой уравнений:

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}\omega(I) &= \frac{98,4 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 8}{1 + 98,4 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 8 \cdot 0,024} \cdot \frac{U_{3C}}{7,97} - \frac{0,02983 \cdot I}{7,97} \cdot \frac{1 + \frac{98,4 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 0,00625}{0,02983}}{1 + 98,4 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 8 \cdot 0,024} = \\&= \omega_0(U_{3C}) - \Delta\omega(I) = 52,28U_{3C} - 4,084 \cdot 10^{-3} I.\end{aligned}$$

Погрешность скорости электропривода при изменении нагрузки в % определяется по выражению

$$\Delta n = \frac{\omega_0(U_{3C}) - \omega(I_{ДВ.Н})}{\omega_0(U_{3C}) + \omega(I_{ДВ.Н})} \cdot 100\% = \frac{\Delta\omega(I_{ДВ.Н})}{\omega_0(U_{3C}) + \omega(I_{ДВ.Н})} \cdot 100\%$$

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

Таблица 6

$U_{3C}, В$	$\omega, рад/с$			$\Delta n, \%$
	$I = 0 А$	$I_{ДВ.Н} = 94 А$	$I_{ЭП.МАКС} = 187 А$	
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.

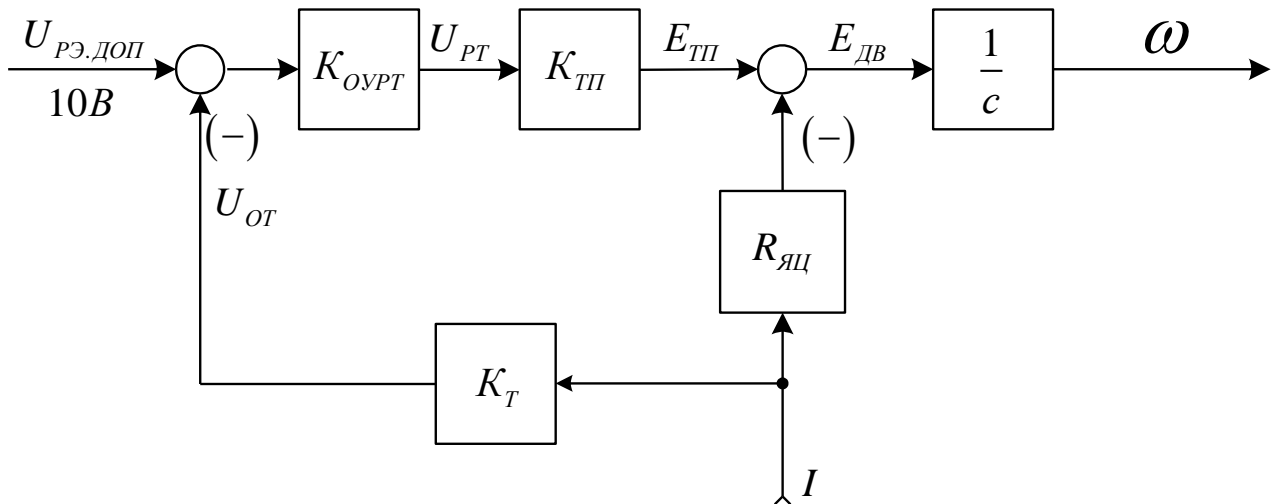


Рисунок 37 – Структурная схема электропривода для режима стабилизации тока

Схема рисунка 37 описывается следующей системой уравнений:

$$U_{PT} = (U_{PЭ.ДОП} - U_{OT}) \cdot K_{OУ.PT};$$

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

$$E_{ТП} = K_{ТП} \cdot U_{PT};$$

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

$$E_{ДВ} = C \cdot \omega.$$

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

$$I(\omega) = \frac{K_{OУ.PT} \cdot K_{ТП}}{R_{ЯЦ} + K_{OУ.PT} \cdot K_{ТП} \cdot K_T} \cdot U_{PЭ.ДОП} - \frac{C \cdot \omega}{R_{ЯЦ} + K_{ТП} \cdot K_{OУ.PT} \cdot K_T}$$

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

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

$$= I(\omega = 0) - \Delta I(\omega) = 160 \cdot U_{PЭ.ДОП} - 0,001296\omega.$$

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

Таблица 7

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

Электромеханические характеристики электропривода приведены на рисунке 38.

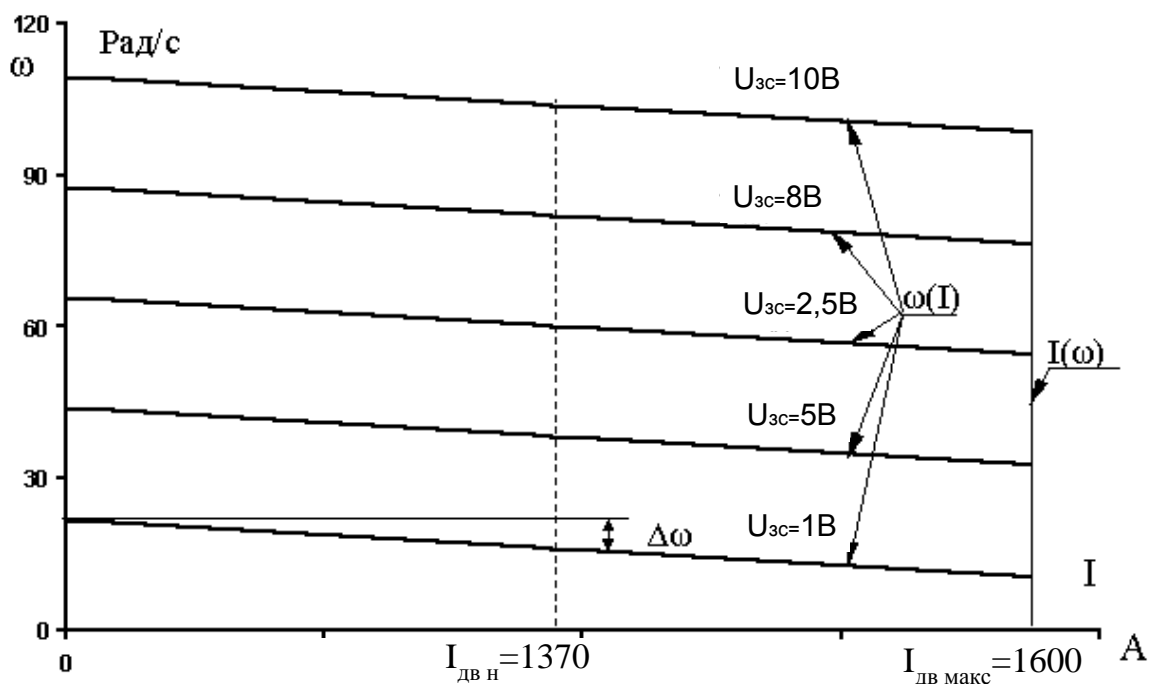


Рисунок 38 – Статические характеристики привода при $K_{pz} = 8$

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.

$$K_{pz} > \frac{K_r}{K_y \cdot R_{яц}} = \frac{0,00625}{0,024 \cdot 0,02983} = 8,69.$$

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Группа	ФИО
3-5ГЗА2	Курбонбоев Дониёр Мурод угли

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образова- ния	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость проектных ПНР работ</i>	<i>Стоимость материалов ПНР, содержание и сроки ПНР, информационных и человеческих ресурсов</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»</i>
3. <i>Используемая система налогообложения</i>	<i>Отчисления в бюджетно-страховые формы (30,2% от заработной платы)</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Планирование и формирования графика работ по реализации технического проекта</i>	<i>Для составления графика работ по реализации технического проекта используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя.</i>
2. <i>Формирование сметы технического проекта</i>	<i>В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям:</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Материальные затраты;</i> • <i>Полная заработная плата исполнителей;</i> • <i>Отчисления во внебюджетные фонды;</i> <i>Накладные расходы;</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	К.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА2	Курбонбоев Дониёр Мурод угли		

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В предыдущих разделах дипломного проекта разработан электропривод насоса буровой установки. Данная установка предназначена для эксплуатационного и глубокого разведочного бурения нефтяных и газовых скважин глубиной до 2900м забойными двигателями и роторным способом.

Несмотря на значительные достижения в области бурового оборудования, существуют трудности в этой области, связанные со следующими факторами:

- Парк буровых установок укомплектован на половину морально устаревшим оборудованием;
- Существует тенденция удорожания бурового оборудования;
- Отечественной промышленностью не выпускаются серийно необходимые буровые установки, что нередко приводит к нецелесообразности использования установок более тяжелых классов и в результате повышается стоимость бурения;
- Большинство буровых установок выпускается в неполной комплектации, что в значительной мере приводит к снижению эффективности использования оборудования;
- Низкая монтажеспособность и транспортабельность установок снижает эффективность ее использования.

Вышеприведенные факты доказывают необходимость, как проектирования новых буровых установок, так и усовершенствования уже используемых.

Успех существования, финансовая стабильность и бизнес рост предприятия требует от последнего реконструкции и модернизации устаревшего технологического оборудования. Совершенствование технологии производства с целью повышения качества продукции (ее потребительских свойств), экономии затраченных средств, что существенно влияет на конечную стои-

мость продукции, появление новых видов продукции с новыми качествами - все это требует от товаропроизводителя совершенствоваться и внедрять новое технологическое оборудование, что целесообразно делать воспользовавшись услугами специализированных фирм, предоставляющих полный спектр по проектированию и наладке технологического оборудования.

Экономическое обоснование дипломного проекта разделено на две части:

1) Экономические расчеты по научно-техническому проектированию. Проектированием занимался один человек - автор проекта, с консультациями у специалистов по техническим, экономическим вопросам и вопросам, связанным с безопасностью жизнедеятельности. Целью этого раздела являлся расчет затрат, связанных с процессом проектирования, решение вопросов, связанных с ценообразованием проекта и расчета полученной прибыли.

Проект состоит из трех основных частей:

- основная часть (решаются технические вопросы);
- экономическая часть (экономическое обоснование, как самого проекта, так и работ, связанных с монтажом и наладкой проектируемого электропривода;
- безопасность и жизнедеятельность (решаются вопросы, связанные с безопасностью работ на всех стадиях: начиная от проектирования и кончая наладкой);

2) Экономический расчет монтажных и наладочных работ по данному электроприводу. Считаем, что этими работами занимается фирма, специализирующаяся в этой области и имеющая свой штат сотрудников. Целью этого раздела являлся расчет затрат, связанных с соответствующими работами, с определением цен на данные виды работ, определения размера получаемой прибыли. В этом разделе учитывались:

- Затраты предприятия, реально возможные на данный момент, в процессе его сборки, монтажа и наладки;
- В процессе расчетов использовались налоги со ставками, утвер-

жденными на настоящий момент;

- отчисления во внебюджетные фонды: 30,2% (от заработной платы);
- Продажная цена на проектирование, сборку, монтаж и наладку электропривод рассчитывалась с учетом налога на добавочную стоимость (НДС): 18%.

5.1 Расчет номинального фонда времени на проектирование

Так как специфика таких работ, как проектирование электропривода не поддается строгому техническому нормированию, т.к. все определяется как уровнем сложности проектируемого электропривода, так и требуемым объемом работ. Поэтому, более удобно экономический расчет проекта проводить в зависимости от объема затраченного на проект времени. Следовательно, важным моментом является определение номинального фонда времени работы над проектом. Расчет производим на одного человека за срок, отведенный на проект: апрель (30 дней) и май (31 день).

Номинальный фонд рабочего времени:

$$T_H = T_K - T_{ПР} - T_{ВЫХ} = 61 - 3 - 8 = 50 \text{ дня,}$$

Где: $T_K=61$ день - календарное время;

$T_{ПР}=3$ дня - праздничные дни (майские праздники);

$T_{ВЫХ}=8$ дней - выходные дни: считаем 6 рабочих дней в неделю.

Зарезервируем: не выход по болезни: $t_{БОЛЕЗНИ} = 3$ дня.

Тогда, целодневные невыходы на работу, соотнесенные к номинальному

фонду рабочего времени: $t_{нд} = \frac{t_{болезни}}{T_H} = \frac{3}{50} = 0,06$ дня.

Явочное время: $T_{яв} = T_H \cdot T_p \cdot (1 - t_{нд}) = 50 \cdot 8 \cdot (1 - 0,06) = 376 \text{ ч.,}$

где $T_{яв} = 8$ ч.- расчет производим на восьми часовой рабочий день.

Для расчетов необходим расчет фонд явочного времени в год. Расчет

производим за год в 365 дней.

Номинальный фонд рабочего времени в год;

$$T_{нз.} = T_{кз.} - T_{прз.} - T_{выхз.} = 365 - 9 - 52 = 304 \text{ дня,}$$

где: T_K -365 дней - календарное время в год;

$T_{ПР} = 9$ дней - праздничные дни;

$T_{ВЫХз.} = 52$ дня - выходные дни: считаем 6 рабочих дней в неделю.

Зарезервируем:

- отпуск: $t_{ОТП} = 24$ дня;
- не выход по болезни: $t_{БОЛЕЗНИ} = 12$ дней.

Тогда, целодневные невыходы на работу, соотнесенные к номинальному фонду рабочего времени:

$$t_{нд} = \frac{t_{отпуск} + t_{болезни}}{T_{нз.}} = \frac{24 + 12}{304} = 0,143 \text{ дня.}$$

Явочное время в год:

$$T_{явз.} = T_{нз.} \cdot T_{см} \cdot (1 - t_{нд}) = 304 \cdot 8 \cdot (1 - 0,143) = 2084,2 \text{ ч.,}$$

где $T_{СМ} = 8$ ч. - восьми часовой рабочий день.

5.2 Расчет затрат по научно-техническому проектированию

а) Произведем расчет амортизационных отчислений основных фондов

К основным фондам относятся средства труда, которые многократно используются в процессе производства, не изменяя свою натурально-вещественную форму. К ним относятся средства труда стоимостью более 10000 р. и сроком службы более одного года: здания, сооружения, передаточные устройства, машины и оборудование, транспортные средства, производственный и хозяйственный инвентарь и т.д.

Все основные фонды учитываются в натуральных и денежных показателях, это проводится со следующими целями:

- для определения степени морального и физического износа;

- для бухгалтерского учета.

Учет в денежных единицах необходим для начисления ежегодных сумм амортизации и определения финансовых показателей (себестоимости и прибыли). Основные фонды переносят свою стоимость на вновь изготовленную продукцию в виде амортизационных отчислений.

Амортизация - это возмещение стоимости основных фондов в течении их эксплуатации. Отчисления производятся за счет себестоимости в амортизационный фонд. Предприятие, по мере необходимости, снимает эти средства на приобретение новых основных фондов - реновация. Амортизация может начисляться одним из нескольких способов:

- 1) линейным способом - равномерно на всем сроке эксплуатации основных фондов;
- 2) производственным способом - в зависимости от выработки предприятия за определенный период;
- 3) по остаточной стоимости.

Выберем линейный способ амортизации. Проектированием занимаемся в лабораторном кабинете восьмого корпуса Томского политехнического университета, с использованием компьютера, принтера и лабораторного стенда.

Заработная плата может быть рассчитана по одной из двух основных форм:

- Сдельная форма оплаты труда: применяется там, где возможно про-нормировать труд, имеются технические обоснованные нормы, есть учет количества продукции;
- Повременная форма оплаты труда: Оплата труда за единицу отработанного времени: час, смена. Применяется там, где невозможно учесть количество изготовленной продукции.

Используем повременную форму оплаты труда, т.к. проектирование электропривода очень сложно про-нормировать, в виду разного уровня сложности проектов и требований, предъявляемых к ним. Для начисления заработной платы устанавливаем часовые тарифные ставки из расчета среднего

размера зарплаты для соответствующей квалификации проектировщиков, работающих в организациях, которые профилируются в области проектирования электромеханических систем промышленного назначения в г. Томске:

Так как проектированием занимается инженер, то его часовая тарифная ставка приравнена к 2-й категории: ЧТС_{пр}=200 р./ч.

Для расчета времени, которое затратил проектировщик в процессе создания проекта, составляем таблицу 8.

Таблица 8 - Временные затраты на проект.

№	Содержание работы	Продолжительность, ч.	События
1	2	3	4
1	Ознакомление с заявкой на проектирование	10	Составление технического задания
2	Выбор типа электропривода	12	Выбран тип электропривода
3	Анализ современных СУЭП*	10	Выбор СУЭП
4	Ознакомления с объектом управления	18	Уточнение технического задания
5	Разработка структурной схемы	10	Структурная схема электропривода
6	Разработка функциональной схемы	15	Функциональная схема электропривода
7	Составление мат. описания электропривода	30	Математическое описание электропривода
8	Синтез СУЭП	40	Расчет параметров элементов СУЭП
9	Создание имитационной модели	40	Имитационная модель на ЭВМ
10	Моделирование и обработка результатов	20	Показатели качества электропривода
11	Исследование элементных баз отечественных и зарубежных фирм	15	Выбор комплектующих для реализации СУЭП
12	Корректировка функциональной схемы и ее показателей	30	Улучшение показателей качества электропривода
13	Разработка принципиальной схемы	40	Принципиальная схема

34	Разработка монтажной схемы	30	Монтажная схема
15	Экономические расчеты электропривода	20	Экономическое обоснование проекта
16	Резерв времени	4	—
	Итого	344	

В таблице приведены следующие технические обозначения.

* СУЭП - система управления электропривода.

Примечание к таблице 1: В таблице не учитываются затраты времени на консультации и защиту проекта,

$$T_{\Sigma \text{проект.}} = T_{\text{яв.}} = T_{\Sigma \text{конс.}} + T_{\text{проект.}} = 32 + 344 = 376 \text{ ч.}$$

где $T_{\Sigma \text{конс.}} = 32 \text{ ч.}$ - определяется по таблице 2;

$T_{\text{ПРОЕКТ}}$ определяется по таблице 4

Расчет зарплаты проектировщика за данный проект:

$$ЗП_{\text{пр}} = ЧТ_{\text{спр}} \times T_{\text{яв}} = 200 \times 376 = 75200 \text{ р.}$$

Расчет суммарных затрат на зарплату с учетом районного коэффициента: Районный коэффициент для томской области: $K_p = 1,3$

$$ЗП_{\text{пр}} = K_p \times ЗП_{\text{пр}} = 1,3 \times 75200 = 97760 \text{ р.}$$

Расчет затрат на зарплату с: отчисления во внебюджетные фонды:
=30,2%

налог на страхование: $H_{\text{СТРАХ}} = 0,2\%$

$$ЗП_{\Sigma}^H = H_{\text{соц.}} \cdot H_{\text{страх.}} \cdot ЗП_{\text{пр}}^P = 1,302 \cdot 1,002 \cdot 97760 = 127538$$

Полученные затраты на проектирование электропривода сведем в таблицу 9. согласно пунктам а): б): в); г); д).

Таблица 9 - Калькуляция проектных работ

Наименование затрат	Обозн-я	Время, час	Стоимость, руб/час	Сумма
Отчисления на амортизацию	$A_{ПР.}$	376	7,33	2756,2
Расходные материалы	$Z_{р.м.}$	376	2,26	850
Консультации – район. коэф.+соц.налог+н. на страх	$Z_{П_{к./э.}}^H$	37,5	95,73 73,36	3590 2751
Коммунальные услуги	$Z_{КОМ,УД.}$	376	7,09	2666,7
Зарплата – район. коэф.+соц.налог+н. на страх	$Z_{П_{\Sigma}}^H$	376	25 19,15	16603,46
Суммарные затраты	$Z_{ПРОЕКТ.}$		229,92	29217,46

5.3 Расчет затрат на монтажные и пусконаладочные работы

Пусконаладочные работы при монтаже электроприводов и их установке являются завершающей стадией процесса строительно-монтажных работ. Высокий уровень механизации и автоматизации производства, повышенные требования к электроприводу и к продукции увеличивают объем наладочных работ и выделяют их в самостоятельный вид деятельности. От качества проведения пусконаладочных работ зависит бесперебойность работы, безопасность и экономичность обслуживания электрооборудования буровой установки.

В данной части производится расчет затрат, связанных со сборкой электропривода, монтажом и наладкой по проекту, представленному в данной работе. Все эти работы проводит фирма, специализирующаяся по данному профилю. Структура этой фирмы представлена на рисунке 35.

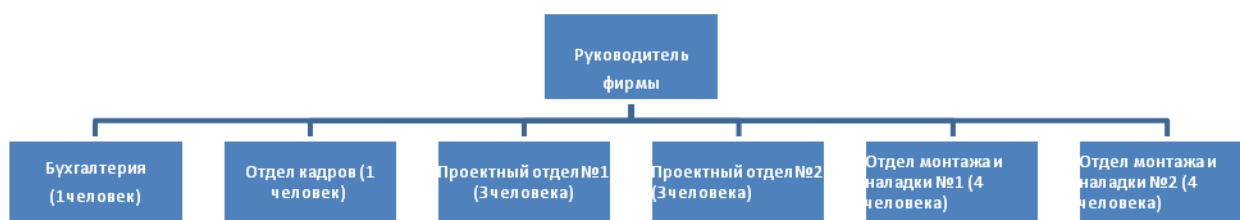


Рисунок 35 - Структура фирмы.

Обеспечение высокой надежности и высококачественной работы установки зависят от качества проведения пуско-наладочных работ (ПНР). Важными показателями ПНР является продолжительность работы, для ее сокращения работы проводятся по самому оптимальному графику. Работу выполняют высококвалифицированные специалисты с большим стажем и практическими знаниями.

Сборка и проверка электропривода производится в лаборатории фирмы, а монтаж на буровую установку и наладка электропривода осуществляется на месте заказчика. Состав ПНР определяется стоимостью устройства электропривода, сложностью его исполнения схем, настройки и других особенностей. Не рассматривая полный комплекс ПНР и его последовательность можно выделить, пять основных этапов проведения ПНР:

1. подготовительные работы;
2. сборка электропривода;
3. наладочные работы, проводимые до индивидуальных испытаний оборудования;
4. наладочные работы в период индивидуальных испытаний технологического оборудования;
5. пробный пуск электропривода;
6. оформление отчетной документации.

5.4 Выбор состава и численности бригады для проведения ПНР

Бригада наладчиков является специализированной бригадой и характеризуется профессиональным составом, работы проводятся в первую смену. На выполнение всех ПНР отведено 100 часов; в том случае, если бригада не укладывается в отведенные на ПНР часы, то работы проводятся во внеурочное время с оплатой труда такой же, как и в рабочее время. Проведение этих работ объясняется утвержденными сроками начала бурения скважины. Техника безопасности запрещает производить работы на оборудовании находящемся под напряжением менее двум рабочим. Состав и численность бригады определяется исходя из квалификации работников, а также сроков выполнения ПНР.

В данном случае бригада состоит из четырех человек:

1. руководитель - инженер первой категории;
2. электронщик шестого разряда;
3. электромонтер шестого разряда;
4. электромонтер пятого разряда.

5.5 Определение плана проведения ПНР

Обеспечение высокой надежности и высококачественной работы буровой установки зависят от качества проведения ПНР. Важными показателями ПНР является продолжительность работы, для ее сокращения работы проводятся по самому оптимальному графику.

Полный комплекс пусконаладочных работ и последовательность их исполнения представлены в таблице 3.

Таблица 10 - Этапы выполнения ПНР

№	Наименование работ	Исполнители	Часы
1	- организация и подготовка работ	1,2,3,4	8
2	- изучение электрической части проекта и ознакомление с технической документацией	1,2,4	4
3	- подготовка парка приборов и приспособлений, программ наладки и комплекта форм протокола	1,2,3,4	8
4	- наладочные работы, проводимые до индивидуальных испытаний оборудования	1,2,3,4	40
5	- наладочные работы в период индивидуальных испытаний технологического оборудования	1,2,3,4	24
6	- пробный пуск электропривода	1,2,3,4	8
7	- составление протокола ПНР и испытаний	1,2,3,4	4
8	- внесение в принципиальные схемы изменений, выполненных в процессе ПНР	1,3	4

По таблице 10 строим график выполнения ПНР, который приведен на рисунке 36.

5.6 Выбор формы и системы оплаты труда

Принцип распределения от количества и качества труда предполагает увязку системы заработной платы не только с качеством труда, но и с его количеством, т.е. с производительностью труда. Мерой количества труда на производстве является отработанное рабочими время или выработанная ими продукция. Установленные для отдельных категорий работников формы и системы оплаты труда должны материально заинтересовать в повышении количественных и качественных показателей работы.

На предприятиях применяются две основные формы оплаты труда - сдельная и повременная. Для бригады наладчиков наиболее эффективной является аккордная система оплаты труда. Эта система представляет собой разновидность сдельной системы, при которой сдельная расценка (сумма аккордного наряда) устанавливается на значительный объем работ без установ-

ления норм и расценок на отдельные элементы. При этом определяется срок окончания всей работы. Расчет с рабочими по аккордной оплате труда производится после выполнения всей оговоренной работы. Если выполнение аккордного задания требует значительного времени, то по аккордным нарядам выплачивается аванс на текущий месяц с учетом выполненного объема работы, а окончательный расчет производится после сдачи всего объема работ (аккорда).

Аккордная система является бригадной и заработок распределяется между всеми членами бригады. Аккордная система может сочетаться с выплатой премий за улучшение качества работы и за сокращение сроков ее выполнения. Если договором предусматривается промежуточная оплата, то в этом случае руководствуются структурой пусконаладочных работ (таблица 10).

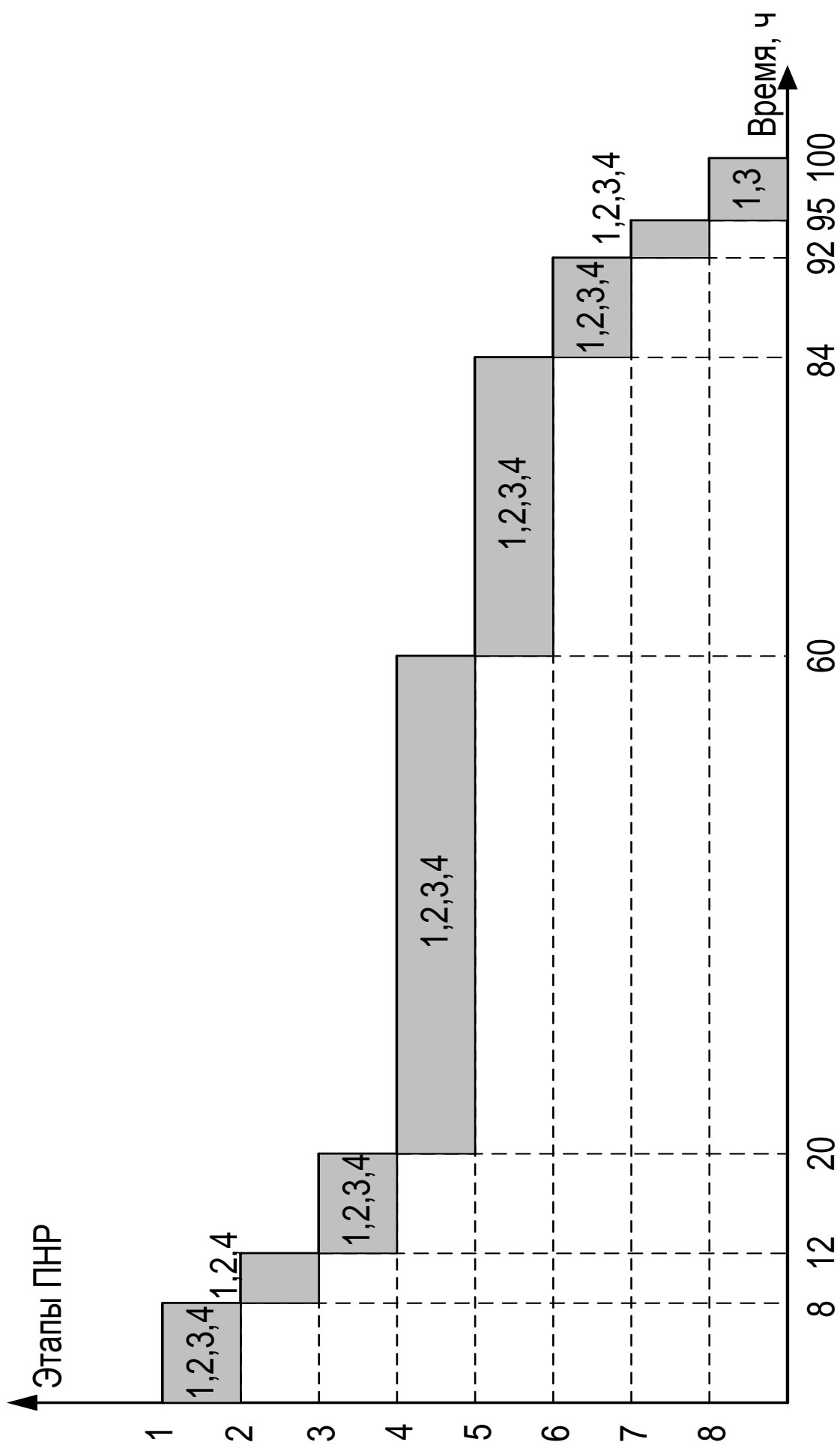


Рисунок 36 – График проведения ПНР

5.7 Определение стоимости ПНР

Стоимость пусконаладочных работ по электроприводу буровой установки исчисляется суммированием затрат по следующему оборудованию и видам работ:

- преобразовательным трансформаторам и реакторам;
- коммутационным аппаратам;
- устройствам релейной защиты;
- электрическим машинам;
- статическим преобразователям;
- схемам управления электроприводом, а также систем автоматического управления и регулирования ими.

Цены на пусконаладочные работы содержат только основную заработную плату пусконаладочного персонала, рассчитанную на основе тарифных ставок и среднемесячных должностных окладов, установленных для работников. Базисную стоимость пусконаладочных работ определяем на основании ценника на проведение ПНР. Важнейший принцип определения заработной платы при бригадном методе работы - оценка реального трудового вклада каждого члена бригады в получение конечного результата.

При проведении пусконаладочных работ в условиях, снижающих производительность труда к цене, следует применять следующие коэффициенты:

- наличие в зоне работ действующего оборудования, коэффициент 1,1;
 - выполнение ПНР в электротехнических установках, находящихся под напряжением, коэффициент 1,3;
 - надбавка к ценам ПНР, районный коэффициент 1,3;
 - реальная стоимость ПНР определяется с учетом индексации цен
- Базисные расценки на наладку электрооборудования при проведении пусконаладочных работ приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Расценки на наладку электрооборудования при ПНР

Наименование работ	Ед. изм.	Кол, шт.	Цена, руб.	Сумма, руб.
Блок питания	шт.	2	4300	8600
Преобразователь тиристорный	шт.	2	75000	150000
Датчики	шт.	6	1100	6600
Контур системы автоматического регулирования тока	контур	2	1500	3000
Контур системы автоматического регулирования скорости	контур	2	1500	3000
Схема сигнализации	схема	2	900	1800
Снятие на осциллограф	—	50	100	5000
Работы, не учтенные ценником				4500
ИТОГО, С _{сум}				182500

В соответствии с ценником на проведение ПНР и таблицей 11 стоимость пусконаладочных работ электропривода буровой установки определяется следующим образом:

- ♦ стоимость с учетом районного коэффициента

$$C_{\text{сум1}} = 1,3 * C_{\text{сум}} = 1,3 * 182500 = 237250 \text{ руб}$$

- ♦ стоимость с учетом наличия в зоне выполнения ПНР действующего технологического оборудования

$$C_{\text{сум2}} = 1,1 * C_{\text{сум1}} = 1,1 * 237250 = 260975 \text{ руб}$$

- ♦ стоимость с учетом наличия в зоне выполнения ПНР в электротехнических устройствах, находящихся под напряжением

$$C_{\text{сум3}} = 1,35 * C_{\text{сум2}} = 1,35 * 260975 = 352316 \text{ руб}$$

- ♦ базисная стоимость ПНР с учетом коэффициента индексации цен

$$C_{\text{пнр}} = 5 * C_{\text{сум3}} = 5 * 352316 = 1761580 \text{ руб}$$

В сметную стоимость ПНР входят:

1. заработная плата пусконаладочной бригады;
2. дополнительная заработная плата, составляющая 10 ÷ 15 процентов от основной заработной платы;
3. затраты на комплектующие материалы составляет от основной 5

процентов;

4. отчисления на социальные нужды (пенсионный фонд, фонд медицинского страхования, фонд социального страхования, фонд занятости, фонд содействия развития науки и т.д.) составляют 35,6 процентов;

5. накладные расходы составляют 40 процентов;

6. рентабельность составляет 10 ÷ 15 процентов от всех отчислений;

7. общая стоимость пусконаладочных работ;

8. общая стоимость пусконаладочных работ с учетом НДС составляет 20 процентов от общей стоимости ПНР.

Рассчитанная сметная стоимость пусконаладочных работ приведена в таблице 12.

Таблица 12 - Стоимость ПНР

Статья	Сумма, руб.	Примечание
1. Заработная плата	1761580	Спнр
2. Дополнительная заработная плата	176158	10% от ст. 1
3. Материалы	88079	5% от ст. 1
4. Отчисления на социальные нужды	528474	35,6% от ст. 1
5. Накладные расходы	704632	40% от ст. 1
7. Стоимость ПНР	44108,14	∑ ст.(1÷6)
8. Стоимость ПНР с учетом НДС	52929,77	НДС = 20%

5.8 Расчет заработной платы бригады

В фирме, занимающаяся ПНР электропривода буровой установки введена сеточная повременная оплата труда. С учетом отработанных часов сумма, выделенная на оплату труда бригады, составит 20978,82 руб.; распределение ведется по часовой ставке:

Таким образом в процессе ПНР рассчитываем заработную плату каждого члена бригады с учетом районного коэффициента и соц. налога, расчет сведен в таблицу 13.

Таблица 13 - Заработная плата работников

Состав бригады	Часовая ставка	Отработанные часы	Заработная плата, руб.
Инженер 1-ой категории	140	100	18738,72
Электронщик 6-го разряда	124	95	16597,15
Электромонтер 6-го разряда	124	96	16597,15
Электромонтер 5-го разряда	124	95	7376,51
Итого			59309,53

5.9 Правовые документы, действующие при проведении ПНР

Пуско-наладочные работы по электроприводу буровой установки, как указывалось выше, выполняет группа специалистов производственной фирмы на основе "договора-подряда". В договоре на проведение пусконаладочных работ оговариваются следующие пункты:

1. Предмет договора. Исполнитель принимает на себя обязательства проведения ПНР. Содержание и сроки указываются в других пунктах. Указывается срок сдачи объекта.
2. Стоимость работ. За выполнение ПНР заказчик перечисляет сумму в размере, оговоренном сторонами при заключении договора.
3. Порядок сдачи-приемки работ. В этом месте оговариваются порядок сдачи и приемки работ с оформлением соответствующего акта, а также случаи пересмотра сроков и оплат.
4. Ответственность сторон. За невыполнение обязательств по договору исполнитель и заказчик несут правовую и имущественную ответственность в соответствии с действующим законодательством.
5. Прочие условия.
6. Срок действия договора и юридические адреса сторон.

Таблица 14 - Переменные затраты на закупку комплектующих к ЭП

Наименование комплектующих	Стоимость, руб
Двигатель постоянного тока, 560 кВт	385800
Трансформатор силовой	250000
Тахогенератор	10000
Вторичный источник питания	20000
Блок защиты и сигнализации (комплект)	8000
Тиристорный преобразователь (комплект)	150000
Автоматический выключатель	12000
Система защиты и сигнализации (комплект)	11000
Сельсинный командоаппарат	10000
Итого:	1014800

Суммарные переменные затраты по 1) и 2):

$$Z_{пер.} = 44108,14 + 1014800 = 1058908,14 \text{ р.}$$

Суммарные затраты на сборку, монтаж и наладку электропривода:

$$Z_{м/н} = Z_{пост.} + Z_{пер.} = 6127 + 1058908,14 = 1065035,14 \text{ р}$$

Затраты на проектирование, сборку, монтаж и наладку электропривода:

$$Z_{эп} = Z_{проект.} + Z_{м/н} = 29217,46 + 1065035,14 = 1094952,6$$

где $Z_{проект.}$ - определены в таблице 8.

Полученные затраты на ПНР сведем в таблицу 15.

Таблица 15 - Калькуляция ПНР

Наименование затрат	Время, час	Стоимость, руб/час	Сумма
Отчисления на амортизацию	100	50	5000
Расходные материалы	100	55	5500
Административный аппарат	100	33	3300
Коммунальные услуги	100	25	2500
Стоимость ПНР			44108,14

Комплектующие			371300
Суммарные затраты			431708,14

5.10 Ценообразование

По ценам на разработку, создание, монтаж и наладку электромеханических изделий наша фирма должна конкурентоспособной как с иностранными фирмами, так и отечественными фирмами. Цены в среднем по Томску на закупку, установку и наладку электроприводов (подобного уровня сложности) находятся в пределах: 400÷600 тыс.р. Главная цель фирмы - это создание рабочих мест и обеспечение персонала заработной платой по размеру не менее средней по городу. Устанавливаем цену на электропривод со всеми надлежащими работами, связанными с проектированием, сборкой, монтажом и наладкой - 500 тыс. р.

Из общей цены распределяем прибыль:

- 1) на проектирование $Проект. = 18000р.$;
- 2) на монтаж и наладку $Пм/н = 31248р.$

Необходимо отметить, что в таблице 9 учтена рентабельность ПНР - 4010 р. Суммарная прибыль фирмы, занимающаяся монтажом и пусконаладочными работами составит - $Пнпр_{\Sigma} = 31248 + 4010 = 35258$ р.

Тогда, цена на проектирование электропривода составит

$$Ц_{проект.} = З_{проект.} + Проект. = 29217,46 + 18000 = 47217,46 \text{ р.};$$

Цена на закупку сборку, монтаж и наладку электропривода составит:

$$Ц_{м/н} = З_{м/н.} + Пнпр_{\Sigma} = 421535,14 + 35258 = 456793,14 \text{ р.}$$

Цена электропривода с учетом проекта, его стоимостью и всеми надлежащими работами:

$$Ц_{эп.} = Ц_{проект.} + Ц_{м/н} = 47217,46 + 456793,14 = 504010,6 \text{ р.}$$

Все экономические расчеты были проведены без налога на добавочную стоимость (НДС). Произведем расчет продажных цен с учетом НДС=18%:

$$\text{На проект: } Ц_{проект.прд.} = Ц_{проект.} \cdot \text{НДС} = 47217,46 \cdot 1.8 = 84991.4 \text{ р.}$$

На закупку сборку, монтаж и наладку электропривода:

$$Ц_{м/н \text{ прод.}} = Ц_{м/н} \cdot \text{НДС} = 456793,14 \cdot 1,8 = 822227,6 \text{ р.}$$

Продажная цена электропривода с учетом проекта, его стоимостью и всеми надлежащими работами:

$$Ц_{\text{эл. прод}} = Ц_{\text{проект. прод.}} + Ц_{м/н} = 84991,4 + 822227,6 = 907219 \text{ р.}$$

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА2	Курбонбоев Дониёр Мурод угли

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Буровая установка БУ-2900/200 ЭПК БМ предназначена для бурения нефтяных и газовых скважин глубиной 2900 метров с грузоподъемностью на крюке до 200 тонн. Регулируемый электропривод насоса буровой установки, применяется для обеспечения в скважине циркуляции бурового раствора</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</p>	<p>Анализ опасных факторов</p> <p>1.Механические травмы 2.Поражения электрическим током</p> <p>Анализ вредных факторов</p> <p>1.Низкая освещенность 2.Шум 3.Вибрации 4.Отклонение параметров микроклимата</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p>	<p>Анализ воздействия на литосферу</p> <p>1) Разливы трансформаторного масла при авариях с маслонаполненным оборудованием, на подстанциях предусматриваются маслоприемники; 2)Образование отходов, связанных с заменой комплектующих разрабатываемого оборудования, образование золо-</p>

	отвалов
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее типичная ЧС для рассматриваемого буровой установки – пожар. - по необходимо оснащению (первичные средства пожаротушения пожарная сигнализация ,система автоматического пожаротушения); -инструкции по пожарной безопасности для работников -план эвакуации работников при пожаре
4. Правовые и организационные вопросы безопасности.	Разработка организационных мероприятий для безопасной работы электротехнического персонала.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А2	КурбонбоевДониёрМурод угли		

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Исследуемый в проекте электропривод насоса буровой установки БУ 2900/200 ЭК-БМ, на базе нереверсивного тиристорного преобразователя, предназначен для управления вращением роторного стола в процессе бурения и эксплуатации скважин. В буровой установке используются электроустановки как низкого напряжения (до 1000 В) так и высокого (выше 1000 В).

Работы по обслуживанию и ремонту электропривода, проводимые оперативно-ремонтным и ремонтным персоналом, ведутся на технологическом оборудовании и вблизи него. Работы по обслуживанию и ремонту устройства управления, имеющего щитовое исполнение и находящегося в помещении операторной, ведутся при искусственном освещении.

Для оперативного проведения ремонта вышедшего из строя оборудования, в условиях непрерывного производства, обслуживающему персоналу необходимо иметь четкие знания и соблюдать правила безопасности согласно.

6.1 Производственная безопасность

Буровые установки являются объектами повышенной взрыво - пожароопасности: при проведении технологических процессов применяются горючие жидкости (дизельное топливо, нефть и др.). Во время проходки продуктивных горизонтов возможно наличие природного газа под полом буровой и в насосной.

Возможные опасные факторы, возникающие при эксплуатации электропривода насоса буровой установки:

- а) опасность поражения электрическим током (прикосновение к частям электропроводки или оборудования, оказавшегося под);
- б) наличие вращающихся агрегатов.

Возможные вредные факторы, возникающие при буровых работах:

- а) неблагоприятные климатические условия;
- б) шум и вибрации;
- в) недостаточная освещенность рабочих мест в ночное время суток;
- г) использование вредных веществ для приготовления промывочных жидкостей на буровой бывает причиной отравлений и ожогов работающих.

С точки зрения техники безопасности, естественно, что для разработки защитных мероприятий от электрических поражений необходим анализ основных причин и условия их возникновения. Чаще всего они происходят в результате образования электрической дуги или искр вызывающих ожоги.

Использование электропривода вызывает опасность поражения электрическим током, причем основным источником электротравматизма являются установки низкого напряжения (до 1000 В).

Основными мерами защиты при эксплуатации электроустановок:

- привитие работающим навыков безопасной эксплуатации электрооборудования;
- использование токов низкого напряжения (12-36В);
- постоянных токов небольших величин;
- контроль и профилактика повреждений изоляции;
- обеспечение недоступности токоведущих частей;
- использование защитного заземления и зануления;
- использование защитного отключения;
- применение средств защиты и предохранительных приспособлений.

В электроустановках напряжением выше 1000 В дополнительными электробезопасными средствами являются диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики и изолирующие подставки, а в установках напряжением до 1000 В - те же средства за исключением диэлектрических перчаток.

Защита работающих от неблагоприятных климатических условий, а в частности от избыточного тепла и холода достигается с помощью специализированной одежды, обуви, рукавиц и головных уборов.

При наличии производственного шума, превышающего допустимые санитарные нормы, и вибрации оборудования должны проводиться технические мероприятия по ограничению воздействия этих вредных факторов на рабочих. В таблице 16 приведены допустимые уровни шума для нашего случая. Существует несколько мероприятий для снижения шума до значений, не превышающих допустимые: технические средства борьбы с шумом (уменьшение шума машин в источнике, применение технологических процессов, при которых уровень звукового давления на рабочих местах не превышает допустимые, и др.); строительно-акустические; дистанционное управление шумными машинами; использование средств индивидуальной защиты; организационные (выбор рационального режима труда и отдыха, сокращение времени нахождения в шумных условиях, лечебно-профилактические и другие мероприятия).

Таблица 16 - Допустимые уровни шума на рабочем месте.

Рабочее место	Уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гн								Уровень звука в эквиваленте
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятия	99	92	86	83	80	78	76	74	85

Индивидуальными средствами защиты от вибраций являются рукавицы с вкладышами из пенопласта, поролона, обувь с прокладками из виброизолирующих материалов. В качестве эффективных средств защиты целесообразно применять войлочные стельки, валенки с галошами, резиновые коврики на рабочем месте бурильщика, индивидуальные основания под полом и др.

6.2 Экологическая безопасность

На промышленных объектах и установках с выделением сероводорода и других газов должны предусматриваться мероприятия по предотвращению влияния газов на рабочий персонал, такие как установка системы вентиляции, которая будет отводить вредные газы от рабочей зоны. В газокompрессорных станциях, нефтенасосных, газораспределительных будках и других производственных помещениях содержание газов в воздухе не должно превышать указанному в таблице 17.

Таблица 17 – Допустимое содержание газов.

Наименование вредного вещества	пдк
метана, % объема	0,7
сернистого газа, мг/м ³	10
окиси углерода, мг/м ³	20
паров бензина (в пересчете на углерод), мг/м ³	300
сероводорода в смеси с углеводородами, мг/м ³	3
ртути, мг/м ³	0,01
метанола (спирта метилового), мг/м ³	5

К основным средствам защиты от влияния газов

Один из продуктов переработки нефти - трансформаторное масло - является опасным, токсичным, канцерогенным. Опасный сам по себе, он, в определенных условиях, становится источником одних из самых опасных современных токсичных биоаккумулированных веществ длительного действия (полупериод распада - 10 лет) - диоксинов. По поражающей силе один из диоксинов мало уступает современным боевым отравляющим веществам, являясь часто их эквивалентом. Чрезвычайная опасность их состоит в том, что, накапливаясь в жировых тканях организма, они не выводятся из него, и подавляют репродуктивную функцию всего живого, тем самым, являясь генетическим оружием.

Сырая нефть и природный газ также являются экологически опасными веществами; попадая в воздух, воду, почву они наносят огромный ущерб

всему живому. О прямом ущербе от разливов нефти и выбросов газа при авариях трубопроводов, танкеров и других объектов, участвующих в процессе транспорта и переработки нефти и газа, широко известно.

На рассматриваемой буровой используется обваловка каждого кустика скважины добычи нефти. При аварийной ситуации, при попадании в почву нефти используются установки для очистки почвы от нефтяных примесей. В каждом цехе подготовки переработки нефти (ЦППН) используется шламовое хозяйство.

Ширина санитарно-защитной зоны для жилых районов устанавливается согласно действующим санитарным нормам. В отдельных случаях по согласованию с органами Государственного санитарного надзора допускается уменьшение ширины санитарно-защитной зоны в зависимости от степени ослабления или полной ликвидации вредных факторов.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Буровые установки относятся к категории А. Категория производства по степени опасности поражения молнией - II. Класс взрывопожароопасной зоны по ПУЭ - В-Iг (наружные установки, где возможно образование паро- и газовоздушных взрывоопасных смесей при неисправностях и авариях),

Пожарная профилактика промышленных объектов, согласно заключается в следующем:

- предотвращении образования горючей среды, а также ограничении горючести обращающихся в производстве веществ, материалов, оборудования и конструкций;
- предотвращении образования в горючей среде (или внесения в нее) источников зажигания;
- поддержании температуры горючей среды ниже максимально допустимой до горючести;
- поддержании давления в горючей среде ниже максимально допусти-

мого до горючести;

- уменьшении определяющего размера горючей среды ниже максимального по горючести.

Эти профилактические мероприятия обеспечиваются:

- строгим соблюдением нормативов пожарной безопасности, обучением персонала, пропагандой основ пожарной профилактики на предприятиях;

- применением широкого комплекса организационно-технических мероприятий;

- правильной планировки предприятий и цехов; применения огнестойких материалов для строительных конструкций и ограничения использования пожароопасных веществ;

- автоматизации и механизации пожароопасных производственных процессов;

- герметизации оборудования и технологических линий и др.

Согласно, опасными факторами пожара, воздействующими на людей, являются открытый огонь и искры; повышенная температура воздуха, предметов и т. п.; токсичные продукты горения; дым; пониженная концентрация кислорода; обрушение и повреждение зданий, сооружений, установок; взрыв.

На буровых объектах, согласно необходимо иметь огнетушители химические пенные ОХП-10 (6 шт.) ломы, топоры и багры (по 2 шт.), лопаты и ведра (по 4 шт.), 4 ящика для песка объемом по 0,5 м³ каждый. В случае необходимости число перечисленных средств может быть увеличено.

На буровых с электроприводом наряду с перечисленными средствами следует иметь огнетушители углекислотные (ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8), а при использовании промывочных жидкостей на углеводородной основе целесообразно создание в помещении насосной установки пенного пожаротушения (пеногенераторы для получения химической пены - ПГП или генераторы воздушной пены - ГВП).

Кроме того, в последнее время буровые оборудуются системами водяного тушения: технические водопроводы снабжают пожарными кранами, в

помещении насосной и в бытовых помещениях хранят выкидные пожарные рукава и ручные пожарные стволы к ним.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

К работе электромонтера по ремонту и обслуживанию электропривода насоса буровой установки допускаются лица не моложе 18 лет, имеющих специальное образование, прошедших медицинское освидетельствование, прошедшие проверку знаний ПЭЭП и ПТБ электроустановок потребителей в цеховой комиссии, утвержденной распоряжением главного электрика комбината.

При эксплуатации электроустановок потребителей, электротехнический персонал электрослужбы должен систематически повышать свою квалификацию и уровень знаний правил, и инструкций по охране труда, изучать передовой опыт и безопасные приемы обслуживания электроустановок.

Периодически один раз в квартал электромонтер из числа оперативного персонала электрослужбы должен участвовать в противоаварийных тренировках с целью предупреждения и ликвидации неполадок и аварий.

Техника безопасности при ремонте и обслуживании электрооборудования насоса буровой установки предусматривает:

1. Назначение лиц, ответственных за безопасность работ. Такими лицами являются производители работ, начальники участков, мастера и бригадиры монтажных работ.
2. Включение, в проект производства работ, решений по созданию условий для безопасного и безвредного производства, по санитарно-гигиеническому обслуживанию работающих, по достаточному освещению рабочих мест.
3. Внедрение передового опыта работы по предупреждению производственного травматизма.

Важную роль в обеспечении безопасности труда для электротехнического персонала играют электротехнические средства защиты и предохранительные приспособления. Электротехнические средства подразделяются на основные и дополнительные. К основным средствам относятся:

- изолирующие клещи (для операции с предохранителями);
- электроизмерительные указатели напряжения;
- монтажный инструмент с изолирующими ручками;
- диэлектрические перчатки;
- изолирующие штанги (оперативные, измерительные, для наложения заземления).

К дополнительным средствам относятся:

- изолирующие средства для ремонтных работ под напряжением до и выше 1000 В (диэлектрические боты, коврики, и т. п.);
- индивидуальные экранирующие средства;
- переносные заземления;
- временные ограждения;
- предупредительные плакаты.

При выполнении работ необходимо соблюдать следующие правила:

а) весь персонал должен иметь на руках удостоверение о ежегодной проверке знаний по технике безопасности;

б) все работающие должны быть ознакомлены с правилами оказания первой медицинской помощи пострадавшему от электрического тока;

в) запрещается во время работы электрических машин касаться токоведущих частей, открывать дверцы и люки кожухов и машин, а также снимать защитное ограждение;

г) вращающиеся части машин должны быть ограждены;

д) корпуса всех электроустановок должны быть надежно заземлены;

е) в электрических схемах должна быть предусмотрена защита от перегруза и короткого замыкания;

ж) доступ к работе должен производиться только после выполнения всех технических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность при проведении работ.

Важной мерой, обеспечивающей электробезопасность обслуживающего персонала, является защитное заземление металлических, не токоведущих (конструктивных) частей электрооборудования привода, нормально не находящихся под напряжением относительно земли, в случае повреждения изоляции электродвигателя, аппаратов управления, сетей, и т.п.. Правила устройства электроустановок предписывают, чтобы при напряжении 500 В и выше все металлические токоведущие части электрооборудования имеющие с ними электрический контакт корпуса и конструкции механического оборудования были заземлены.

Защитное действие выносного заземления обусловлено только малой величиной его сопротивления, согласно ПУЭ, при напряжении до 1000 В, сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4-х Ом.

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 экономической части работы проведена оценка техникоэкономического обоснования выбора темы, приведён расчет затрат на проектирование и проведение пусконаладочных работ электропривода бурового насоса, 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.

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.Перельмутора. - 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 контуроа регулирования. - Томск: Изд. ТПУ,2000.-144с.
7. Броун С.И., Хоботько В.И. Программированное руководство по безопасному ведению буровых работ. - М.: Недра, 1978.
8. С.И. Броун. Охрана труда в бурении. - М.: Недра, 1981.
9. Правила безопасности в нефтегазодобывающей промышленности. Изд.2. - М.: Недра, 1975.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ) и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТБ). - М.: Атомиздат, 1972.
11. Техника безопасности в нефтяной промышленности. - Труды ВНИИТБ, вып. XIX - XXVII, 1970 - 1977.
12. Система стандартов безопасности труда. Сборники ГОСТов. 4 тома. - М.: издательство стандартов, 1971.
13. Охрана труда в машиностроении. Под редакцией Е.Я. Юдина. - М.: Ма-

шиностроение, 1983.

14. Противопожарные требования. Основные положения проектирования
СниП /П-А.5-70.-М.:1971.

15. Методическое пособие для расчета вибрации. - Т.: ТПУД989.

16. Панов Г. Е., Броун С. И. Охрана окружающей среды в нефтегазодобывающей промышленности. - М.: ВНИИОЭНГ, 1988.