

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Механико-технологический факультет
Кафедра машиностроения, автоматике и электроэнергетики

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
к.т.н., доцент
_____ В.Г. Некрутов
_____ 201_ г.

Модернизация электропривода буровой лебедки

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ ВКР

Консультанты
Безопасность жизнедеятельности,
к.т.н., доцент
_____ В.Г. Некрутов
_____ 201_ г.

Руководитель работы,
инженер
_____ Ю.В. Константинов
_____ 201_ г.

Автор работы
студент группы ИОДО-552
_____ Д.Х. Юмагужин
_____ 201_ г.

Нормоконтролер, доцент
_____ В.Д. Константинов
_____ 201_ г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА	8
1.1 Тиристорные реверсивные электроприводы постоянного тока «ЭПТОН-М».....	8
1.2 Электроприводы постоянного тока ЭПТ	9
1.3 Микропроцессорный привод постоянного тока Lenze	10
1.4 Микропроцессорный привод постоянного тока Mentor II	12
Выводы по разделу один.....	13
2 ОПИСАНИЕ БУРОВОЙ ЛЕБЕДКИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРО- ЦЕССА БУРЕНИЯ СКВАЖИН	14
2.1 Состав буровых установок.....	14
2.2 Назначение буровой лебедки	15
2.3 Основные требования к буровой лебедке.....	16
2.4 Технологический процесс бурения скважин.....	17
Выводы по разделу два.....	17
3 ВЫБОР ТИПА ПРИВОДА И МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ	18
3.1 Исходные технические данные	18
3.2 Расчет и выбор основных параметров	19
3.3 Проверка двигателя по нагреву	24
3.4 Расчет механических характеристик двигателя.....	29
3.5 Расчет механических характеристик привода лебедки.....	31
Выводы по разделу три.....	34
4 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ	35
4.1 Описание системы.....	35
4.2 Исходные данные для расчета	40
4.3 Расчет параметров якорной цепи.....	41
4.4 Расчет параметров цепи возбуждения.....	44
4.5 Расчет параметров контура тока.....	49
4.6 Расчет параметров контура скорости.....	52
4.7 Расчет системы регулирования возбуждения.....	54
4.8 Моделирование системы управления электроприводом.....	59
4.9 Реализация САР.....	60
Выводы по разделу четыре.....	69
5 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АВТОМАТИКИ.....	70
5.1 Особенности буровой лебедки как объекта управления	70
5.2 Электропривод регулятора подачи долота	70
5.3 Автоматизация регулятора подачи долота	72
5.4 Реализация нечеткой логики в промышленности	82

Выводы по разделу пять.....	83
6 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБРАННОГО ВАРИАНТА	84
6.1 Введение.....	84
6.2 Расчет вариантов	85
6.3 Сравнение экономических показателей	86
Выводы по разделу шесть.....	87
7 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	88
7.1 Введение	88
7.2 Обеспечение безопасности работающих	88
7.3 Экологичность проекта	96
7.4 Чрезвычайные ситуации	99
Выводы по разделу семь.....	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	101
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	102

ВВЕДЕНИЕ

В создании основных производственных фондов в нефтяной и газовой промышленности определяющим является строительство скважин. Повышение технико-экономических показателей этого процесса обеспечивается улучшением использования календарного времени строительства скважин, увеличением скорости бурения и уменьшением материальных затрат, т. е., в конечном счете, повышением производительности труда и снижением стоимости метра проходки. На эти факторы, наряду с совершенствованием технологических процессов, улучшением качества и расширением ассортимента материалов, повышением уровня организации и культуры производства, существенное влияние оказывает технический уровень применяемого бурового оборудования. При создании буровых установок для глубокого и сверхглубокого бурения особое внимание уделяется повышению эффективности спуско-подъемного агрегата и снижению затрат на спуско-подъемные операции, наиболее длительные и трудоемкие в процессе проводки скважины.

Основной технологической схемой спуско-подъемных операций, принятой как в нашей стране, так и за рубежом, является дискретная схема с разборкой колонны на свечи; спуск и подъем колонны в современных буровых установках производятся с помощью лебедки и талевого системы. Одним из основных путей повышения производительности работ по спуску и подъему бурового инструмента является использование высокопроизводительных подъемных систем, конструктивные схемы и параметры которых выбираются с учетом особенностей силового привода. Привод буровой лебедки относится к главным приводам буровой установки, поэтому от производительности и экономичности привода буровой лебедки зависит производительность и экономичность всей буровой установки в целом.

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1.1 Тиристорные реверсивные электроприводы постоянного тока «ЭПТОН-М»

Тиристорные преобразователи «ЭПТОН-М» предназначены для управления электродвигателями (приводами) постоянного тока мощностью до 5000 кВт. Преобразователи «ЭПТОН-М» являются модернизированной версией преобразователей «ЭПТОН». Основное отличие преобразователей новой серии — цифровая микропроцессорная система управления электроприводом. Степень защиты преобразователей от IP21 до IP54. Диапазон регулирования частоты вращения без датчика скорости 1:45. Напряжение обмотки якоря до 1000 В, обмотки независимого возбуждения до 440 В, ток обмотки якоря до 5000 А. Ток обмотки независимого возбуждения до 20 А. По спецзаказу преобразователи «ЭПТОН-М» могут быть изготовлены с напряжением обмотки возбуждения более 440 В и номинальным током обмотки возбуждения более 20 А.

Технические характеристики регулируемых электроприводов постоянного тока «ЭПТОН-М»:

- напряжение питания: $3 \times 380 \pm 10-15\%$ В, $50 \pm 2\%$ Гц;
- степень защиты: IP21, IP54 по ГОСТ 14254;
- помехоустойчивость и ограничение помехоэмиссии: соответствует ГОСТ Р 51524;
- средняя наработка на отказ: не менее 10000 ч;
- средний срок службы: не менее 10 лет;
- климатические условия:
 - 1) высота над уровнем моря не более 1000 м;
 - 2) температура окружающего воздуха: для УХЛ3.1 от -10° С до $+40^{\circ}$ С, для У2 от -40° С до $+40^{\circ}$ С;
 - 3) относительная влажность воздуха 98% при температуре $+25^{\circ}$ С; окружающая среда не содержит взрывоопасных и агрессивных газов в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию, и не насыщена токопроводящей пылью.
- диапазон регулирования частоты вращения ротора электродвигателя 1:45;
- напряжение обмотки якоря и обмотки независимого возбуждения не более 440 В;
- ток обмотки независимого возбуждения не более 20 А.

Стандартный комплект поставки регулируемых электроприводов постоянного тока «ЭПТОН-М»:

- преобразователь;
- однофазный сетевой реактор — 3 шт.;
- однофазный реактор цепи обмотки возбуждения — 3 шт.;
- переменный резистор (задатчик частоты вращения);
- кабельная часть разъема управления;
- техническая документация (паспорт и инструкция по эксплуатации).

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

1.2 Электроприводы постоянного тока ЭПТ

Электропривод постоянного тока ЭПТ-Х-0,4-XXXX-УХЛ4 обеспечивает:

- плавный пуск и торможение электродвигателя;
- регулирование частоты вращения электродвигателя напряжением якоря в диапазоне от нуля до номинального значения;
- регулирование частоты вращения электродвигателя выше номинальной при номинальном напряжении якорной цепи ослаблением поля в диапазоне 100-200% номинального значения;
- реверс направления вращения электродвигателя, как по якорю так и по возбуждению, в зависимости от типа механизма;
- «экскаваторную» электромеханическую характеристику (жесткую на рабочем участке и крутопадающую в режиме токоограничения);
- ограничение величины пускового и рабочего тока электродвигателя в диапазоне от 1,1 до 2,5 номинального значения;
- защиты (максимально-токовую, от перегрузки, от обрыва поля, нулевую, технологическую и другие по требованию заказчика).
- однофазного или трёхфазного исполнения в зависимости от мощности электродвигателя.

Основные технические данные и характеристики привода приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Техническая характеристика привода ЭПТ

Параметр	Значение
Напряжение питающей сети трехфазное, В	380(+10%,-15%)
Частота питающей сети, Гц	50
Номинальный выпрямленный ток преобразователя якорной цепи, А (по исполнению)	50, 100, 160, 200, 250, 320, 400, 630, 800, 1000
Номинальное выпрямленное напряжение преобразователя якорной цепи, В (по исполнению)	460, 230
Номинальный выпрямленный ток возбuditеля, А (по исполнению)	5, 10, 20, 30
Номинальное выпрямленное напряжение возбuditеля, В (по исполнению)	110/220
Габаритные размеры и вес	по исполн.

Структура условного обозначения ЭПТ-Х-0,4-XXXX-УХЛ4 приведена на рисунке 1.1.

										Лист
										9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ					

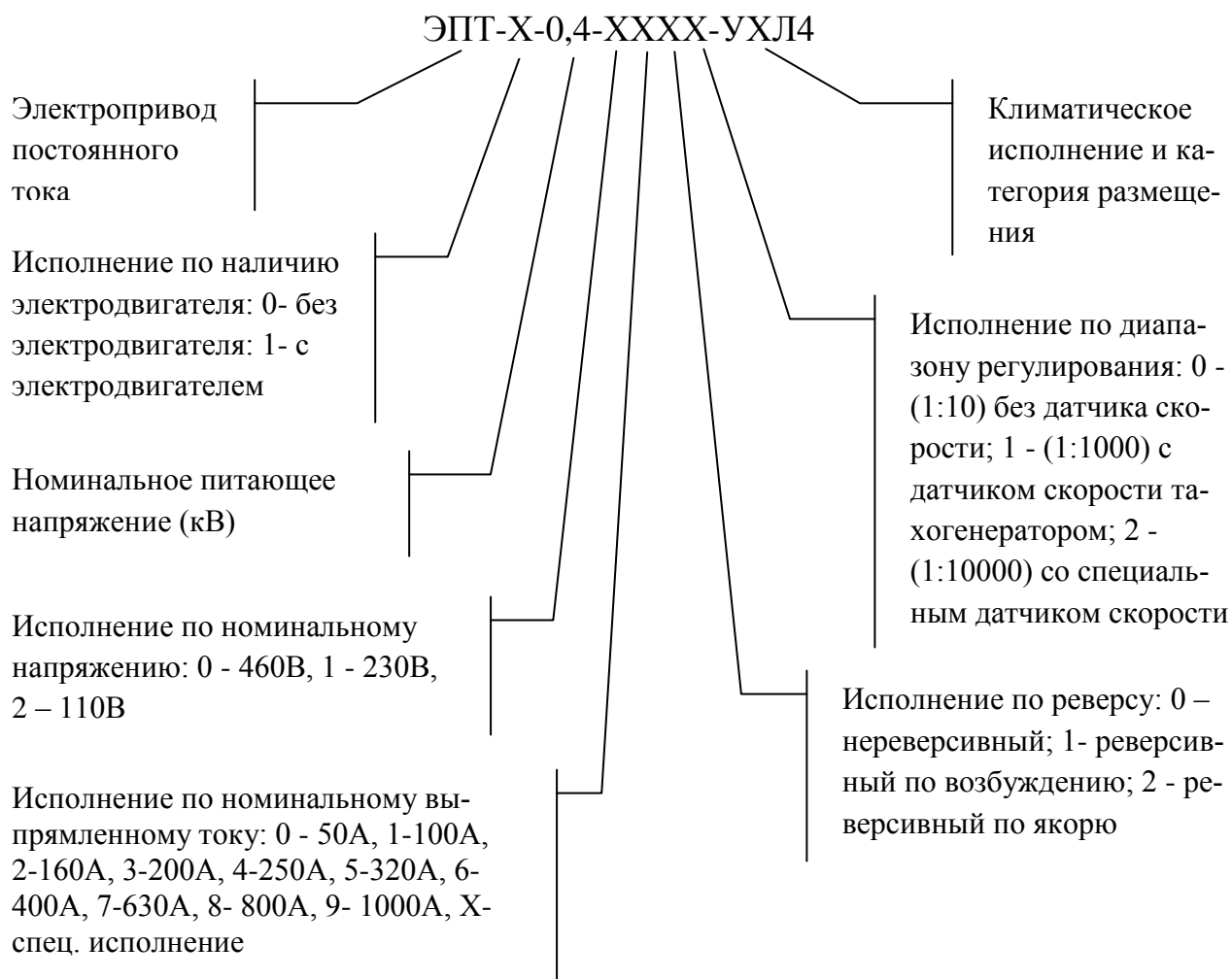


Рисунок 1.1 – Структура условного обозначения привода

1.3 Микропроцессорный привод постоянного тока Lenze

Lenze (Германия) – многофункциональный микропроцессорный привод постоянного тока серии 4800/4900 для управления двигателями постоянного тока мощностью 6,4 : 500 кВт.

Преобразователи постоянного тока немецкой компании Lenze серии 4800/4900 представляют собой цифровые программируемые приборы, которые могут быть легко встроены в системы регулирования для обеспечения полного управления процессом.

Это мощные, надежные и компактные устройства, которые производятся по самой современной технологии. Использование этих устройств обеспечивает высоконадежное решение для современных потребностей процесса регулирования.

Технические характеристики привода приведены в таблице 1.2.

						Лист
					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 1.2 – Технические данные привода Lenze

Тип и модель привода	Типовая* мощность двигателя пост. тока, кВт, при $U_{\text{якоря}} = 400 \text{ В}$	Номинальный выходной ток, А	Ток возбуждения, А	Номинальное напряжение питания $U_{\text{пит.}}$, В	Напряжение якоря, В	Номинальное напряжение тахогенератора, В	Масса, кг
4808_E	152	330	15	3×340:460 В АС, 50:60 Гц	$1,15 \times U_{\text{пит}}$	10 – 180	28
4809_E	230	500	30				28
4811_E	322	700	30				60
4812_E	490	1000	30				60
4902_E	6,7	16	3,5		$1,05 \times U_{\text{пит}}$		5,5
4903_E	10,5	25	3,5				8,1
4904_E	23,1	55	10				11
4905_E	46,2	110	10				11
4906_E	84	200	10				11
4907_E	105	250	10				11
4908_E	139	330	15				28
4909_E	210	500	30				28
4911_E	294	700	30				60
4912_E	420	1000	30				60

* Данное значение может быть увеличено при большем напряжении якоря.

Особенности электропривода:

- двух(4800)- и четырехквadrантные(4900) модели;
- обратная связь по напряжению и по скорости с помощью тахогенератора, резольвера или энкодера;
- возможность обеспечения цифровой связи нескольких приводов для обеспечения синхронизации скорости и угла поворота вала двигателя;
- точность поддержания скорости 0,05% при 100% изменении нагрузки с обратной связью по скорости;
- диапазон регулирования скорости 1:1000 с обратной связью по скорости;
- задание момента вращения;
- контроль положения ротора;
- двухстрочный LCD дисплей;
- четыре пользовательских набора параметров сохраняемых в энергонезависимой памяти;
- программируемые входы и выходы;
- усовершенствованная самодиагностика;

- функция ослабления поля для увеличения скорости;
- ограничение увеличения тока якоря;
- регулируемая защита I^2t ;
- полная защита от перегрузок;
- память последних четырех аварийных отключений;
- ПИД регулятор;
- последовательный интерфейс RS-485 или RS-232 со скоростью передачи 1200 - 9600 бод;
- модуль связи (опция) с промышленными шинами стандартов PROFIBUS, InterBUS.

1.4 Микропроцессорный привод постоянного тока Mentor II

Mentor II (Великобритания) – многофункциональный микропроцессорный привод постоянного тока для управления двигателями постоянного тока мощностью 7,5 : 750 кВт.

Mentor II является последней версией наиболее совершенных преобразователей постоянного тока компании Control Techniques. Он представляет собой программируемый системный преобразователь, который может быть легко встроен в другие системы для обеспечения полного управления процессом.

Mentor II при той же стоимости является более мощным, надежным и компактным по сравнению с аналогичными устройствами. Преобразователь производится по самой современной технологии. Использование устройства обеспечивает высоконадежное решение для современных потребностей процесса регулирования.

Технические данные электропривода приведены в таблице 1.3.

Особенности электропривода:

- одно- и четырехквadrантные модели;
- обратная связь по напряжению и по скорости с помощью тахогенератора и энкодера;
- энергонезависимая память для хранения параметров;
- контроллер поля возбуждения;
- задание момента вращения;
- контроль положения ротора;
- двухстрочный LED дисплей и удобная для пользователя структура меню;
- установка скорости кнопками;
- четыре предустановленные скорости;
- программируемые входы и выходы;
- произвольное соединение фаз;
- усовершенствованная самодиагностика;
- разрешение 0,025% при аналоговом сигнале скорости;
- стабильность поддержания скорости 0,1% при 100% изменении нагрузки с помощью тахогенератора;
- программируемые ограничения;

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

- ограничение увеличения тока ротора;
- регулируемая защита;
- полная защита от перегрузок;
- память последних четырех аварийных отключений;
- ПИД регулятор;
- все аналоговые и цифровые входы регулируются пользователем;
- программное обеспечение MentorSoft.

Таблица 1.3 – Технические данные привода Mentor II

Тип и модель привода		Типовая* мощность двигателя пост. тока, кВт, при $U_{\text{якоря}} = 400 \text{ В}$	Максимальный непрерывный ток, А		Максимальное значение тока возбуждения, А	Охлаждение
одноквadrантный	4-квadrантный		входной переменный ток	выходной постоянный ток		
M25	M25R	7,5	21	25	8	Естественное
M45	M45R	15	38	45	8	
M75	M75R	30	63	75	8	
M105	M105R	37,5	88	105	8	
M155	M155R	56	130	155	8	
M210	M210R	75	175	210	8	С вентилятором
M350	M350R	125	292	350	10	
M420	M420R	150	350	420	10	
M550	M550R	200	460	550	10	
M700	M700R	250	585	700	10	
M825	M825R	300	690	825	10	
M900	M900R	340	750	900	20	
M1200	M1200R	450	1000	1200	20	
M1850	M1850R	750	1540	1850	20	

* Данное значение может быть увеличено при большем напряжении якоря.

Выводы по разделу один

В данном разделе ВКР были проанализированы возможности, технические характеристики и области применения электроприводов постоянного тока отечественного и иностранного производства. Проведенный анализ вариантов поможет в дальнейшем выбрать подходящий по техническим характеристикам электропривод для буровой лебедки.

2 ОПИСАНИЕ БУРОВОЙ ЛЕБЕДКИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ СКВАЖИН

2.1 Состав буровых установок

Буровые установки (рисунок 2.1) предназначены для бурения эксплуатационных и глубоких разведочных скважин вращательным способом.

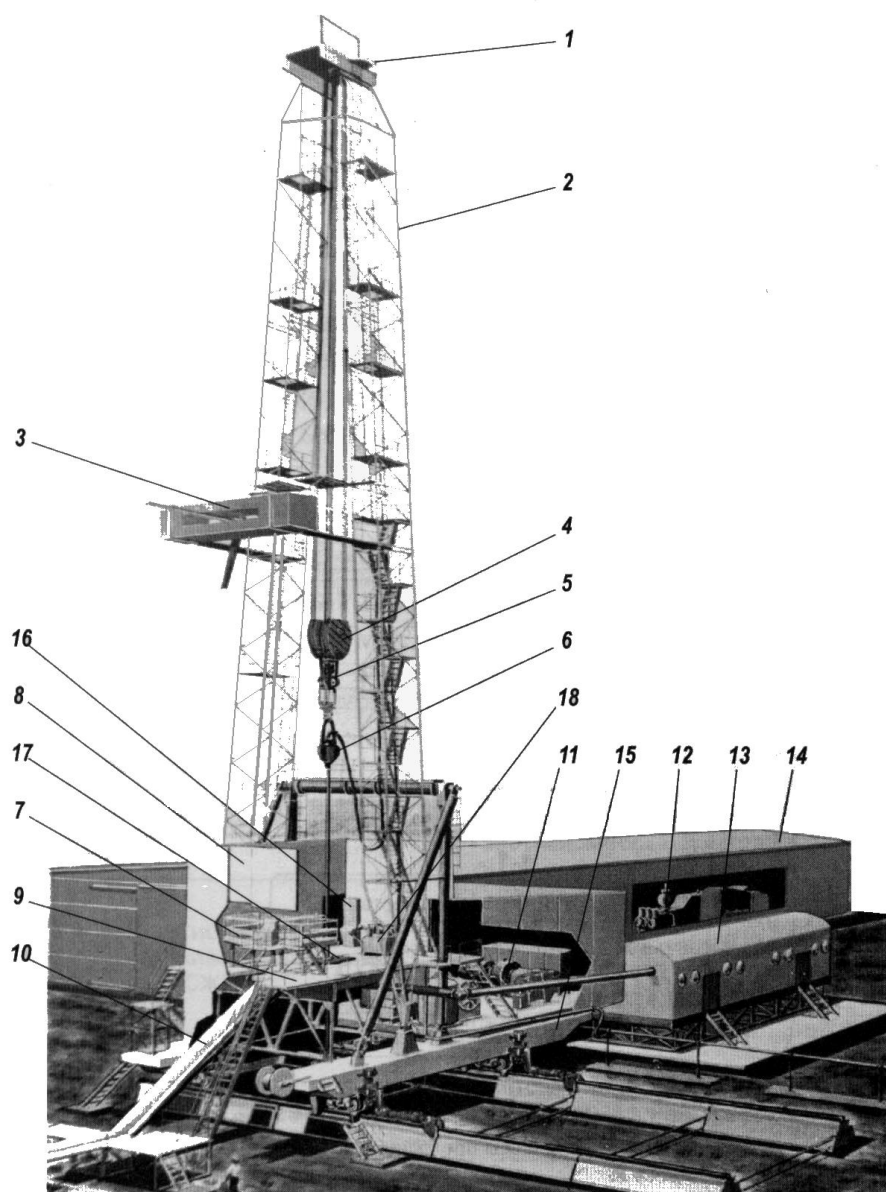


Рисунок 2.1 – Общий вид установки глубокого бурения:

1 – кронблок; 2 – вышка; 3 – комплекс механизации спуско-подъемных операций АСП; 4 – талевый блок; 5 – автоматический элеватор; 6 – вертлюг; 7 – подсвечники для труб; 8 – укрытие буровой площадки; 9 – буровая площадка; 10 – приемный мост со стеллажами и наклонным желобом; 11 – буровая лебедка; 12 – буровой насос; 13 – циркуляционная система; 14 – укрытие насосного блока; 15 – основание; 16 – пульт управления; 17 – ротор; 18 – вспомогательная лебедка

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Технология вращательного бурения состоит из следующих основных операций [1]:

- вращение и продольная подача породоразрушающего инструмента по мере углубления скважины;
- промывка скважины и вынос разрушенной породы на поверхность;
- наращивание бурильной колонны по мере углубления скважины;
- подъем и спуск в скважину бурильной колонны для смены породоразрушающего инструмента и забойного двигателя;
- приготовление, обработка и очистка промывочного раствора;
- спуск обсадных колонн для крепления скважины.

Для выполнения этих операций, а также аварийных работ требуются различные по функциональным назначениям машины, механизмы и оборудование.

Буровая установка – это комплекс буровых машин, механизмов и оборудования, смонтированный на точке бурения и обеспечивающий с помощью бурового инструмента самостоятельное выполнение технологических операций. Современные буровые установки подразделяются на следующие составные части:

- буровое оборудование (талевого механизм, насосы, лебедка, вертлюг, ротор, топливомаслоустановка, дизель-электрические станции, пневмосистема);
- буровые сооружения (вышка, основания, сборно-разборные каркасно-панельные укрытия);
- оборудование для механизации трудоемких работ (регулятор подачи долота, механизм для автоматизации спуско-подъемных операций, пневматический клиновой захват для труб, автоматический буровой ключ, вспомогательная лебедка, пневмораскрепитель, краны для ремонтных работ, пульт контроля процессов бурения, посты управления);
- оборудование для приготовления, очистки и регенерации промывочного раствора;
- устройства для обогрева блоков буровой установки.

2.2 Назначение буровой лебедки

С помощью буровой лебедки и талевого механизма спускают, поднимают и удерживают на весу бурильную колонну, обсадные трубы и другой инструмент при бурении и креплении скважин. При подъеме вращательное движение, сообщаемое лебедке от привода, посредством талевого каната преобразуется в поступательное движение талевого блока. При спуске тормозные устройства буровой лебедки ограничивают скорость талевого блока, опускающегося под действием собственного веса и веса подвешенного к нему инструмента. Буровые лебедки используются также для передачи вращения ротору, свинчивания и развинчивания бурильных и обсадных труб, для подъема и подтаскивания различных грузов при бурении скважины, монтаже и ремонте установки.

Буровая лебедка относится к главным агрегатам бурового комплекса, определяющим эффективность бурения. Следует учитывать, что буровая лебедка ис-

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

пользуется как при спуско-подъемных операциях, так и при разбурировании забоя скважины.

К основным технологическим функциям лебедки относятся:

- поддержание заданной нагрузки на долото и подача буровой колонны при разбурировании забоя скважины;
- наращивание колонны по мере углубления скважины;
- подъем на поверхность и спуск в скважину буровой колонны для смены долот, забойных двигателей и извлечения керна;
- спуск колонны обсадных труб при креплении скважины;
- спуск и подъем на трубах контрольно-измерительных приборов и ловильного инструмента при испытаниях и освоении скважины, ликвидации прихватов и других аварий в скважине.

Буровые лебедки в отличие от лебедок, используемых в грузоподъемных машинах, работают в условиях, характеризующихся ступенчатым изменением действующих нагрузок. Систематические нагрузки возрастают с углублением забоя скважины, а в процессе спуско-подъемных операций изменяются в десятки и сотни раз в зависимости от числа свечей в буровой колонне.

2.3 Основные требования к буровой лебедке

Лебедка должна отвечать требованиям технологии бурения и удовлетворять условиям ее эксплуатации. Мощность и тяговое усилие лебедки должны быть достаточными для выполнения наиболее тяжелых технологических операций. Скорость подъема и спуска должны обеспечить безаварийность, экономичность и высокую производительность при спуско-подъемных операциях. В режиме спуско-подъемных операций привод лебедки должен обеспечивать:

- подъем грузов при работе в двигательном режиме (1 квадрант м.х.);
- торможение при подъеме в режиме рекуперативного торможения (2 квадрант м.х.);
- силовой спуск (3 квадрант м.х.);
- торможение при спуске (4 квадрант м.х.).

Для транспортировки в собранном виде габариты и масса лебедки должны соответствовать нормам, установленным правилам перевозок железнодорожным транспортом. Необходимо учитывать, что габариты лебедки ограничиваются площадью буровой и проходами, необходимыми для безопасного обслуживания лебедки и других механизмов. Следует особо выделить требования к ее надежности и ремонтпригодности.

Система управления лебедкой должна исключать возможность одновременного включения более одной передачи и самопроизвольное отключение или переключение передачи. Наряду с этим система управления должна обеспечивать автоматическое отключение привода и одновременное включение тормоза, выдачу сигнала «Технологическая блокировка» при срабатывании предохранительных устройств (защита от превышения веса на крюке, защита от переподъема талевого блока, защита от удара талевым блоком о стол ротора и т.д.). При отключении

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

привода и торможении не допускается разгрузка и разматывание ходовой струны талевого каната.

2.4 Технологический процесс бурения скважин

В процессе бурения, возникает необходимость в частых спуско-подъемных операциях с бурильной колонной при углублении скважины и при смене породоразрушающего инструмента. Для сокращения операций свинчивания и развинчивания, вызывающих износ резьбовых соединений, бурильная колонна делится на свечи, состоящие из труб длиной 25 м.

Бурильная колонна состоит из ведущей трубы, бурильных труб, соединяемых бурильными замками, муфтами и переводниками. Ведущая труба соединяется с вертлюгом и посредством зажимов взаимодействует с ротором буровой установки. Утяжеленные бурильные трубы устанавливаются в нижней части колонны и они служат для создания осевой нагрузки на долото. Между ведущей и утяжеленными трубами находятся бурильные трубы, составляющие большую часть бурильной колонны.

Для облегчения инженерных расчетов принимают массу бурильной колонны 30 кг на погонный метр.

При подъеме колонны бурильных труб, колонна зацепляется крюком и поднимается на высоту одной свечи, после чего свеча захватывается механизмом АСП (автомат спуска-подъема), а пустой элеватор опускается вниз. Механизм АСП расцепляет свечу и бурильную колонну и свеча складывается.

При опускании колонны бурильных труб операции выполняются в обратной последовательности.

В зависимости от веса бурильной колонны спуско-подъемные операции могут производиться как на низкой передаче в коробке передач, так и на высокой передаче.

При работе лебедки с механизмом АСП пауза составляет 30 секунд.

Выводы по разделу два

В данном разделе описывается состав буровых установок, назначение и основные требования к буровой лебедке, а также технологический процесс бурения скважин.

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

3 ВЫБОР ТИПА ПРИВОДА И МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

3.1 Исходные технические данные

Исходные технические данные буровой установки приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические данные буровой установки

Параметр	Значение
Диаметр талевого каната, мм	28
Натяжение ходовой ветви каната (при нагрузке на крюке 175 т., оснастке 4x5, массе подвижных частей талевой системы включая силовой вертлюг 4,28 т.), т	23,8
Оснастка талевой системы	4x5
Расчетная мощность, развиваемая приводом на входе в лебедку, кВт	600
Скорость подъема крюка при расхаживании колонны, м/с	0,1...0,25
Диаметр подъемного барабана лебедки, мм: - по бочке - расчетный	500 594
Скорость подъема крюка без нагрузки, м/с	не менее 1,6
Трансмиссия лебедки	2-х скоростная зубчатая коробка
Переключение передач в коробке передач	дистанционное с помощью пневмоцилиндра
Передаточные числа коробки передач: - тихая передача - быстрая передача	8,17 3,87
К.П.Д. трансмиссии (от подъемного вала до электродвигателя)	0,8
Число электродвигателей привода	1
Тормозная система лебедки	
Торможение при спуске и подъеме бурильных и обсадных колонн до неподвижного состояния	с помощью электродвигателей привода
Удержание в неподвижном состоянии и аварийное торможение	механическим тормозом
Тип механического тормоза	дисково-колодочный с тормозными зажимами
Количество тормозных зажимов: - рабочих - аварийных	2 2
Управление тормозом	дистанционное

Окончание таблицы 3.1

Параметр	Значение
Фиксация подъемного барабана при ремонтных работах и простоях	с помощью стопорного устройства
Подача долота на забой	с помощью основного привода в режиме РПД
Точность поддержания нагрузки на долото	+5%
Диапазон скоростей подачи долота, м/ч	0...200
Диапазон задания нагрузки на долото, т	0...30
Аварийный подъем бурильных труб при отключении основного источника электроснабжения	основным приводом с питанием от дизель-электрического агрегата мощностью 200 кВт
Скорость аварийного подъема, м/ч	не менее 100

3.2 Расчет и выбор основных параметров

К основным параметрам буровой лебедки относятся мощность, скорость подъема, тяговое усилие, длина и диаметр барабана лебедки. От правильного выбора указанных параметров зависят производительность, экономичность, габариты и масса лебедки, которые существенно влияют на эффективность бурения, транспортабельность и монтажеспособность всей буровой установки.

3.2.1 Предварительный выбор мощности привода

Мощность буровой лебедки определяется полезной мощностью на ее барабанах, которая должна быть достаточной для выполнения спуско-подъемных операций (СПО) и аварийных работ при бурении и креплении скважин заданной конструкции. При недостаточной мощности возрастает продолжительность СПО, чрезмерная мощность недоиспользуется вследствие ограниченных скоростей подъема и приводит к неоправданным материальным и эксплуатационным расходам. В результате накопленного опыта установлено, что оптимальная мощность буровой лебедки определяется из условий подъема наиболее тяжелой бурильной колонны для заданной глубины бурения с расчетной скоростью при расхаживании колонны 0,1 – 0,25 м/с:

$$P_B = Q_{MAX} \cdot V_p / \eta_{т.с.} \quad (3.1)$$

где Q_{MAX} - максимальная нагрузка на крюке, кН;

V_p - расчетная скорость подъема колонны при максимальной нагрузке, м/с.

$$P_B = 175 \cdot 9,81 \cdot 0,2 / 0,956 = 359,15 \text{ кВт}.$$

										Лист
										19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ					

Тогда, мощность двигателя с учетом системы двухзонного регулирования и двухскоростной трансмиссии получаем [3]:

$$P_N = P_B \frac{D_{II}^{1/2}}{D_{\text{э}}}, \quad (3.2)$$

где $D_{\text{э}} = 1,61$ - диапазон регулирования скорости изменением магнитного потока;

$Z = 2$ - количество ступеней коробки;

$D_{II} = \frac{1,61}{0,2} = 8,05$ - общий диапазон изменения скорости, передач.

$$P_N = 359,15 \cdot \frac{8,05^{1/2}}{1,61} = 632,92 \text{ кВт}.$$

Исходя из требований к приводу лебедки, выбираем однодвигательный привод от двигателей постоянного тока во взрывозащищенном продуваемом исполнении типа 4ПП-450-630-УХЛ2, мощностью 630 кВт, 1000/1600 об/мин, 800 В.

3.2.2 Расчет предельных ускорений в переходных режимах

Полностью управляемый во всех четырех квадрантах привод позволяет существенно сократить время переходных процессов торможения талевого блока (ТБ) при подъеме и разгона при спуске. При этом если ускорение подъемного вала превысит некоторое допустимое значение (это возможно при работе во 2 или 3 квадранте), усилие в ходовой ветви каната станет равным нулю, талевая система будет двигаться самостоятельно, независимо от привода. Такой режим, наступающий при резком ускорении привода, является недопустимым, поскольку может привести к ослаблению каната, нарушению укладки каната на барабан подъемного вала и к повышенным динамическим нагрузкам на оборудование [2].

Ускорение ТБ при торможении на выбеге:

$$a_1 = \frac{[m_0(1 + \Delta) - P_{i_{TC}} X]g + g_0 i_{TC}}{m_{III} + m_K + m_0(1 + \Delta)}, \quad (3.3)$$

ускорение ТБ при разгоне вниз:

$$a_2 = \frac{[m_0(1 - \Delta) - P_{i_{TC}} X]g - g_0 i_{TC}}{m_{III} + m_K + m_0(1 - \Delta)}, \quad (3.4)$$

где $m_0 = 4280$ кг - масса подвижных частей талевой системы;

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

$m_{\text{ш}}$ и $m_{\text{к}}$ - приведенная к талевому блоку масса шкивов и масса каната, соответственно, кг,

$P = 3$ кг/м - масса одного метра каната;

$i_{\text{ТС}} = 8$ - передаточное отношение талевой системы;

$X = 27$ м - расстояние по вертикали между подъемным валом и талевым блоком;

Δ - коэффициент приращения переменной составляющей сил сопротивления в полиспасте, Н;

g_0 - приведенная к ходовой ветви постоянная составляющая сил в полиспасте, Н;

$g = 9,81$ м/с² - ускорение свободного падения.

$$m_{\text{ш}} = \frac{2J_{\text{ш}}}{3D_{\text{ш}}^2} i_{\text{ТС}} (i_{\text{ТС}} + 1)(2i_{\text{ТС}} + 1), \quad (3.5)$$

где $J_{\text{ш}} = 8$ кг · м² – момент инерции шкива ТС относительно собственной оси вращения;

$D_{\text{ш}} = 0,66$ м – диаметр шкива по дну желоба.

$$m_{\text{к}} = \frac{1}{3} P(H_{\text{в}} - X) i_{\text{ТС}} (i_{\text{ТС}} + 1)(i_{\text{ТС}} + 2) + P i_{\text{ТС}}^2 X, \quad (3.6)$$

где $H_{\text{в}} = 41$ м – высота вышки.

$$\Delta = \lambda^{i_{\text{ТС}}} L - 1, \quad (3.7)$$

где $\lambda = 1,007$ - коэффициент сил сопротивления шкива, пропорциональных натяжению ветвей каната;

L – коэффициент.

$$L = \frac{i_{\text{ТС}} (\lambda - 1)}{\lambda^{i_{\text{ТС}}} - 1}; \quad (3.8)$$

$$g_0 = \frac{\lambda + 1}{2(\lambda - 1)} \mu_0 \cdot \Delta, \quad (3.9)$$

где μ_0 – постоянная сил сопротивления одного шкива, $\mu_0 = 65$ Н - среднее значение.

При $i_{\text{ТС}} = 8$:

$$L = 0,9758; \Delta = 0,0318; g_0 = 296,32\text{Н}.$$

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

Ускорение приводного двигателя связано с ускорением талевого блока следующим соотношением:

$$\varepsilon = 2 \cdot a \cdot i_{\text{пер}} \cdot i_{\text{тс}} / D_{\text{Б}}, \text{ рад/с}^2. \quad (3.10)$$

Принимая меньшие значения допустимых ускорений талевого блока a_1 и a_2 , определяются допустимые угловые ускорения двигателя $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ для торможения при подъеме и разгоне при спуске соответственно.

Допустимый тормозной момент привода при подъеме M_1 и допустимый момент привода при разгоне на спуск M_2 определяются из выражения:

- при торможении при подъеме

$$M_1 = J_{\text{пр}} \cdot \varepsilon \cdot \eta_{\text{транс}} / i_{\text{пер}}; \quad (3.11)$$

- при разгоне на спуске

$$M_2 = J_{\text{пр}} \cdot \varepsilon / i_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{транс}}, \quad (3.12)$$

где $J_{\text{пр}}$ - момент инерции вращающихся частей (подъемного вала, коробки передач и двигателя), приведенный к валу двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$i_{\text{пер}}$ - передаточное отношение на данной передаче;

$\eta_{\text{транс}} = 0,914$ - КПД трансмиссии (от подъемного вала до электродвигателя).

В таблице 3.1 приведен расчет моментов инерции привода лебедки.

Таблица 3.1 - Моменты инерции привода лебедки

Наименование узла	Момент инерции, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ (масса, кг)	Передаточное отношение до вала двигателя		Момент инерции, приведенный к валу двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	
		Передача		Передача	
		«быстрая»	«тихая»	«быстрая»	«тихая»
1	2	3	4	5	6
1 Коробка передач	24,0345				
1.1 Ведущий вал	42,183	1	1	24,0345	24,0345
1.2 Промежуточный вал	53,955	1,33	2,8	23,847	6,882
2 Вал подъемный с канатом, навитым до расчетного слоя	465,975	3,87	8,17	31,113	6,981
3 Электродвигатель	33	1	1	33	33
Суммарный момент инерции вращающихся частей				111,994	70,898

Окончание таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6	
Момент инерции поступательно движущихся масс: шкивы талевой системы, канат, талевый блок, бурильная колонна. а) приведенный к барабану	от 57,42 до 202,13	3,87	8,17			
						б) приведенный к валу двигателя
Суммарный момент инерции (среднее значение)					120,659	72,842

Таблица 3.2 - Расчет допустимых линейных и угловых ускорений двигателя, динамических моментов привода

Наименование параметра		$i_{тс} = 8$			
		X = 0		X = 27	
		Тих. пер.	Быстр. пер.	Тих. пер.	Быстр. пер.
Приведенная к талевому блоку масса шкивов, кг		14986,2	14986,23	14986,23	14986,23
Приведенная к талевому блоку масса каната, кг		29520	29520	15264	15264
Талевая система	Ускорение замедления при подъеме, $м/с^2$	0,93388	0,933881	1,134553	1,134553
	Ускорение замедления при подъеме, $рад/с^2$	205,516	0,34999	249,678	118,2685
	Ускорение разгона при спуске, $м/с^2$	0,78696	0,786966	0,92833	0,92833
	Ускорение разгона при спуске, $рад/с^2$	173,185	82,03528	204,2951	96,77139
	Доп. тормозной момент при подъеме, Н · м	14570,7	10902,61	-	-
	Доп. момент при разгоне на спуске, Н · м	12278,5	9187,459	-	-

Итак, выбирая наименьшие из ускорений, получим:

- Допустимое угловое ускорение замедления при подъеме $97,35 \text{ рад/с}^2$;
- Допустимое угловое ускорение разгона при спуске $82,04 \text{ рад/с}^2$.

3.3 Проверка двигателя по нагреву

3.3.1 Расчет нагрузочной диаграммы при подъеме колонны труб с глубины 2900 м, 116 свеч (1030 кН, 105 тонн)

3.3.1.1 Подъем колонны

Статический момент на валу двигателя при подъеме:

$$M_{\text{СП}} = \frac{QD_{\text{БР}}}{2i_{\text{пер}}i_{\text{тс}}\eta_{\text{пер}}\eta_{\text{тс}}} = \frac{Q \cdot 0,594}{2i_{\text{пер}} \cdot 8 \cdot 0,914 \cdot 0,956} = 0,04249 \frac{Q}{i_{\text{пер}}}; \quad (3.13)$$
$$M_{\text{СП}} = 0,04249 \cdot \frac{1030}{8,17} = 5,357 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Суммарный момент инерции: $J_{\Sigma} = 72,842 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Угловая скорость двигателя:

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{P}{M_{\text{СП}}} = \frac{600}{5,357} = 112 \text{ рад/с}. \quad (3.14)$$

Время разгона от номинальной до максимальной скорости $\omega = 112 \text{ рад/с}$:

$$t_{\text{р2}} = J_{\Sigma} \frac{\omega_{\text{max}} - \omega_{\text{n}}}{1,8M_{\text{дв.N}} \cdot \frac{\omega_{\text{n}}}{\omega_{\text{max}}} - M_{\text{СП}}} = 72,842 \cdot \frac{112 - 104,6}{1,8 \cdot 6023 \cdot \frac{104,6}{112} - 5357} = 0,107 \text{ с}.$$

Линейная максимальная скорость подъема колонны:

$$V = \frac{\omega_{\text{дв}} D_{\text{БР}}}{2i_{\text{тс}}i_{\text{пер}}} = \frac{\omega_{\text{дв}} \cdot 0,594}{2 \cdot 8 \cdot i_{\text{пер}}} = 0,037125 \frac{\omega_{\text{дв}}}{i_{\text{пер}}},$$
$$V = 0,037125 \cdot \frac{112}{8,17} = 0,509 \text{ м/с}.$$

Линейная номинальная скорость подъема колонны:

$$V = \frac{\omega_{\text{дв}} D_{\text{БР}}}{2i_{\text{тс}}i_{\text{пер}}} = \frac{\omega_{\text{дв}} \cdot 0,594}{2 \cdot 8 \cdot i_{\text{пер}}} = 0,037125 \frac{\omega_{\text{дв}}}{i_{\text{пер}}},$$
$$V_{\text{n}} = 0,037125 \cdot \frac{104,6}{8,17} = 0,475 \text{ м/с}.$$

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

Время разгона до номинальной скорости:

$$t_{p1} = J_{\Sigma} \frac{\omega_n}{2M_{дв.N} - M_{СП}} = 72,842 \cdot \frac{104,6}{2 \cdot 6023 - 5357} = 1,138 \text{ с.}$$

Путь, пройденный колонной за время разгона:

$$S_{p1} = \frac{V_n}{2} t_{p1} + \frac{V_{MAX} - V_n}{2} \cdot t_{p2} = \frac{0,475}{2} \cdot 1,138 + \frac{0,509 - 0,475}{2} \cdot 0,107 = 0,323 \text{ м.}$$

Допустимое линейное ускорение замедления при подъеме будет равно:

$$a_3 = \frac{\varepsilon_{доп} \cdot D_{бр}}{2 \cdot i_{пер} \cdot i_{тс}} = \frac{97,35 \cdot 0,594}{2 \cdot 8,17 \cdot 8} = 0,442 \text{ м/с}^2.$$

Время замедления от номинальной скорости до остановки привода:

$$t_{31} = \frac{V_n}{a_3} = \frac{0,475}{0,442} = 1,074 \text{ с.}$$

Время замедления от максимальной до номинальной скорости:

$$t_{32} = \frac{V_{max} - V_n}{a_3} = \frac{0,509 - 0,475}{0,442} = 0,077 \text{ с.}$$

Путь, пройденный колонной за время замедления:

$$S_{31} = \frac{V_n}{2} t_{31} + \frac{V_{MAX} + V_n}{2} \cdot t_{32} = \frac{0,475}{2} \cdot 1,074 + \frac{0,509 + 0,475}{2} \cdot 0,077 = 0,293 \text{ м.}$$

Путь, пройденный колонной с установившейся скоростью:

$$S_{уст} = l_{св} - S_{p1} - S_{31} = 25 - 0,323 - 0,293 = 24,383 \text{ м,}$$

где $l_{св} = 25 \text{ м}$ - длина одной свечи.

Время подъема с установившейся скоростью:

$$t_{уст} = \frac{S_{уст}}{V} = \frac{24,383}{0,509} = 47,858 \text{ с.}$$

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Момент двигателя при торможении привода:

$$M_{дв} = -J_{\Sigma} \varepsilon_3 + M_{сш} = -72,842 \cdot 97,38 + 5351 = -1,74 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Момент двигателя при разгоне привода до номинальной скорости:

$$M_{p1} = 2 \cdot M_n = 2 \cdot 6,023 = 12,046 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Момент двигателя при разгоне привода на втором участке:

$$M_{p2} = 1,8 \cdot M_n \cdot \frac{\omega_n}{\omega_{MAX}} = 1,8 \cdot 6,023 \cdot \frac{104,6}{112} = 10,13 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

3.3.1.2 Спуск порожнего элеватора

Спуск порожнего элеватора производится на максимальной скорости, на «быстрой» передаче

$$V_{max} = 1,61 \text{ м/с};$$

$$J_{\Sigma} = 120,659 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$\varepsilon_{доп} = 82,035 \text{ рад/с}.$$

Тогда линейное ускорение разгона до номинальной скорости будет равно:

$$a_{p3} = \frac{\varepsilon_{доп} \cdot D_{бр}}{2 \cdot i_{пер} \cdot i_{тс}} = \frac{82,035 \cdot 0,594}{2 \cdot 3,87 \cdot 8} = 0,789 \text{ м/с}^2.$$

Статический момент на валу двигателя при спуске:

$$M_{сш} = K_B \frac{Q D_{БР} \eta_{тс} \eta_{пер}}{2 \cdot i_{тс} \cdot i_{пер}} = 0,85 \cdot \frac{Q \cdot 0,594 \cdot 0,956 \cdot 0,914}{2 \cdot 8 \cdot i_{пер}} = 0,03179 \frac{Q}{i_{пер}}, \quad (3.15)$$

где $K_B = 0,85$ - коэффициент выталкивания колонны бурильных труб под действием бурильного раствора.

$$M_{сш} = 0,03179 \cdot \frac{100}{3,87} = 0,821 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Угловое ускорение разгона от номинальной до максимальной скорости:

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

$$\varepsilon_{p4} = \frac{M_{cc} + 1,8 \cdot M_n \cdot \frac{\omega_n}{\omega_{max}}}{J_{\Sigma}} = \frac{821 + 1,8 \cdot 6023 \cdot \frac{104,6}{167,4}}{120,659} = 62,948 \text{ рад/с}^2.$$

Момент двигателя при разгоне привода до номинальной скорости:

$$M_{p3} = -J_{\Sigma} \varepsilon_{p3} + M_{cc} = -120,659 \cdot 82 + 821 = -9,073 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Момент двигателя при разгоне от номинальной до максимальной скорости:

$$M_{p4} = -J_{\Sigma} \varepsilon_{p4} + M_{cc} = -120,659 \cdot 62,948 + 821 = -6,774 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Время разгона от номинальной до максимальной скорости:

$$t_{p4} = \frac{\omega_{max} - \omega_n}{\varepsilon_{p4}} = \frac{167,4 - 104,6}{62,948} = 0,998 \text{ с}.$$

Время разгона до номинальной скорости:

$$t_{p3} = \frac{\omega_{двN}}{\varepsilon_{p3}} = \frac{104,6}{82} = 1,276 \text{ с}.$$

Время замедления до номинальной скорости:

$$t_{34} = J_{\Sigma} \frac{\omega_{max} - \omega_N}{\left| 1,8 \frac{\omega_N}{\omega_{max}} M_{двN} - M_{cc} \right|} = 120,659 \cdot \frac{167,4 - 104,6}{1,8 \cdot \frac{104,6}{167,4} \cdot 6023 - 821} = 0,949 \text{ с}.$$

Угловое ускорение замедления от максимальной до номинальной скорости:

$$\varepsilon_{34} = \frac{\omega_{max} - \omega_N}{t_{34}} = \frac{167,4 - 104,6}{0,949} = 66,193 \text{ рад/с}^2.$$

Время до полной остановки привода:

$$t_{33} = \frac{\omega_N \cdot J_{\Sigma}}{2 \cdot M_n - M_{cc}} = \frac{104,6 \cdot 120,659}{2 \cdot 6023 - 821} = 1,124 \text{ с}.$$

Момент двигателя при замедлении от максимальной до номинальной: скорости:

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

$$M_{34} = 1,8 \cdot \frac{\omega_N}{\omega_{\max}} \cdot M_{\text{дв.}N} = 2 \cdot \frac{104,6}{167,4} \cdot 6023 = 6774 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Линейная номинальная скорость спуска элеватора:

$$V = \frac{\omega_{\text{дв}} D_{\text{БР}}}{2i_{\text{тс}} i_{\text{пер}}} = \frac{\omega_{\text{дв}} \cdot 0,594}{2 \cdot 8 \cdot i_{\text{пер}}} = 0,037125 \frac{\omega_{\text{дв}}}{i_{\text{пер}}},$$

$$V_n = 0,037125 \cdot \frac{104,6}{3,87} = 1 \text{ м/с} .$$

Путь, пройденный колонной за время замедления:

$$S_3 = \frac{V_{\max} + V_n}{2} \cdot t_{34} + \frac{V_n}{2} \cdot t_{33} = \frac{1,61 + 1}{2} \cdot 0,949 + \frac{1}{2} \cdot 1,124 = 1,802 \text{ м} .$$

Путь, пройденный колонной за время разгона:

$$S_p = \frac{V_{\max} + V_n}{2} \cdot t_{p4} + \frac{V_n}{2} \cdot t_{p3} = \frac{1,61 + 1}{2} \cdot 0,998 + \frac{1}{2} \cdot 1,276 = 1,942 \text{ м} .$$

Путь, пройденный колонной за время установившегося подъема:

$$S_{\text{уст}} = l_{\text{св}} - S_p - S_3 = 25 - 1,942 - 1,802 = 21,257 \text{ м} .$$

Время подъема с установившейся скоростью:

$$t_{\text{уст}} = \frac{S_{\text{уст}}}{V_{\max}} = \frac{21,257}{1,61} = 13,203 \text{ с} .$$

3.3.2 Проверка двигателя по теплу

Проверка двигателя по теплу производится методом эквивалентного момента.

Время работы:

$$t_p = 1,138 + 0,107 + 47,857 + 0,077 + 1,074 + 1,276 + 0,998 + 13,203 +$$

$$+ 0,949 + 1,124 = 67,804 \text{ с}$$

Время цикла:

$$t_{\text{ц}} = t_p + t_n = 67,804 + 30 = 97,804 \text{ с} ,$$

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

где $t_{ц} = 30$ с - время пауз в цикле.

Для двигателей с принудительной вентиляцией:

$$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{\sum_1^i M_i^2 t_i}{t_{ц}}}. \quad (3.16)$$

При $\omega > \omega_N$ вводится фиктивный момент:

$$M_{\phi} = M_{\text{дв.}} \frac{\omega_{\text{MAX}}}{\omega_N}. \quad (3.17)$$

Эквивалентный момент:

$$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{12050^2 \cdot 1,138 + 10841^2 \cdot 0,107 + 5729^2 \cdot 47,858 + 1863^2 \cdot 0,077 + 1740^2 \cdot 1,074 + 9073^2 \cdot 1,276 + 10841^2 \cdot 0,998 + 1314^2 \cdot 13,203 + 10841^2 \cdot 0,949 + 12050^2 \cdot 1,124}{97,804}} = 4810 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номинальный момент $M_N = 6023 \text{ Н} \cdot \text{м}$, двигатель при данной нагрузке подходит. В остальных характерных точках механической характеристики, нагрузочные диаграммы и эквивалентные токи рассчитаны с помощью программы Проверка двигателя.

Нагрузочные диаграммы приведены на рисунке 3.1.

3.4 Расчет механических характеристик двигателя

Область существования механических характеристик ограничена мощностью двигателя:

$$\omega = \frac{P_p}{M_c}, \quad (3.18)$$

где $P_p = 600$ кВт – расчетная мощность на входе в лебедку,
 M_c – момент на валу двигателя, кН · м.

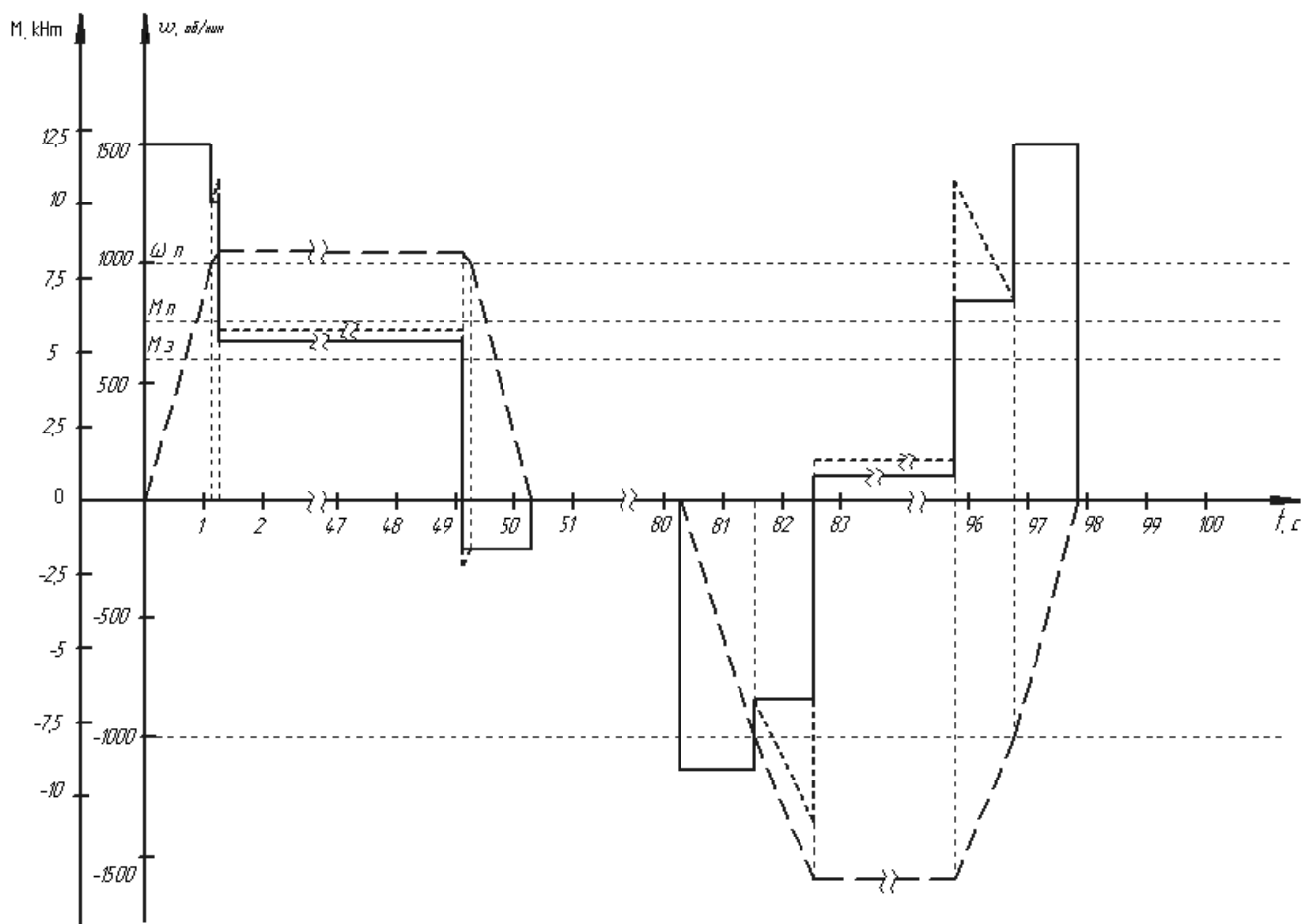


Рисунок 3.1 - Нагрузочная диаграмма и тахограмма двигателя

Сверху скорость ограничена $\omega_{\max} = 167,4$ рад/с – максимальной скоростью двигателя. Максимальный момент на валу возникает при максимально допустимой нагрузке на крюке 175 тонн и равен 9,03 кН·м (тихая передача).

Расчет представлен в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты расчета

М, кН·м	3,58	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9,03
ω , рад/с	167,4	150	133,3	120	109,1	100	92,3	85,7	80	75	70,6	66,4

Механические характеристики двигателя представлены на рисунке 3.2.

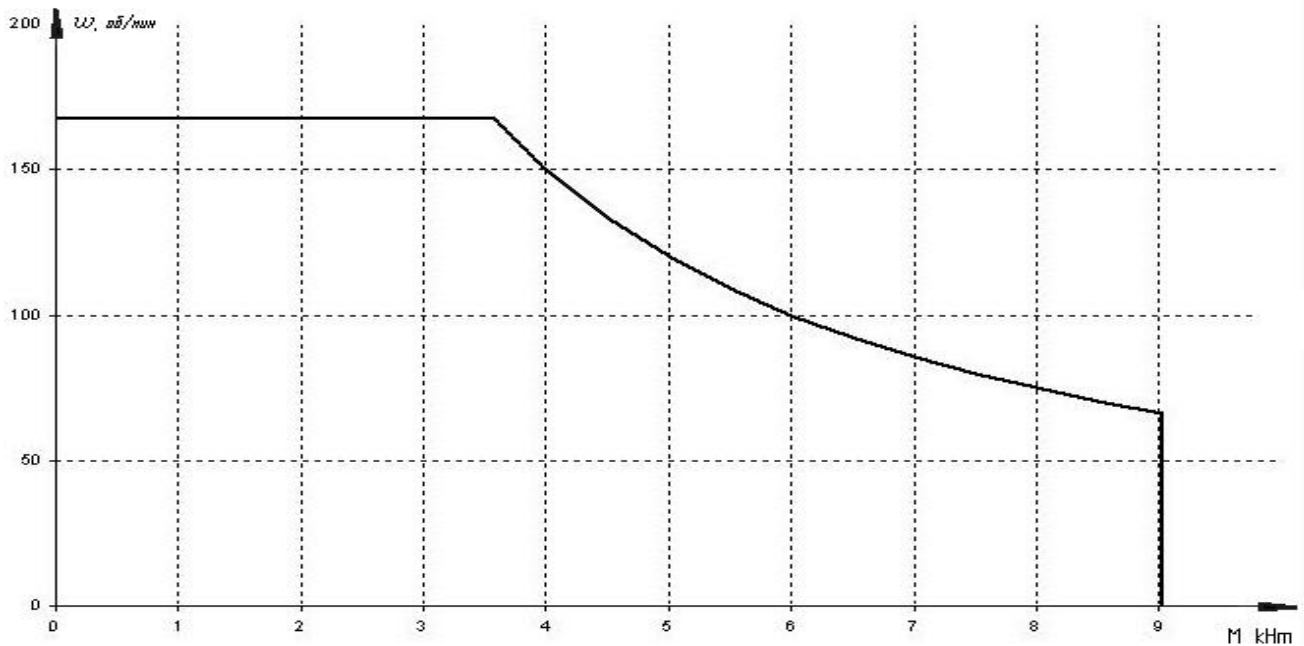


Рисунок 3.2 - Механические характеристики двигателя

3.5 Расчет механических характеристик привода лебедки

Максимальная скорость привода на быстрой передаче равна:

$$V_{\text{MAX}} = \frac{\omega_{\text{max}} \cdot D_{\text{БР}}}{2 \cdot i_{\text{ПЕР}} \cdot i_{\text{ТС}}} = \frac{167,4 \cdot 0,594}{2 \cdot 3,87 \cdot 8} = 1,61 \text{ м/с} .$$

Максимальная скорость привода на тихой передаче:

$$V_{\text{max}} = \frac{\omega_{\text{MAX}} \cdot D_{\text{БР}}}{2 \cdot i_{\text{ПЕР}} \cdot i_{\text{ТС}}} = \frac{167,4 \cdot 0,594}{2 \cdot 8,17 \cdot 8} = 0,617 \text{ м/с} .$$

Максимальная скорость подъема буровой колонны связана с ее весом следующим соотношением:

$$V_{\text{ПОДЪЕМА}} = \frac{P_p \cdot \eta_{\text{пер.}} \cdot \eta_{\text{тс}}}{Q} = \frac{600 \cdot 0,914 \cdot 0,956}{Q} = \frac{524,27}{Q} . \quad (3.19)$$

Максимальная скорость спуска буровой колонны связана с ее весом соотношением:

$$V_{\text{СПУСКА}} = \frac{P_p}{Q \cdot \eta_{\text{пер.}} \cdot \eta_{\text{тс}} \cdot K_B} = \frac{600}{Q \cdot 0,914 \cdot 0,956 \cdot 0,85} = \frac{807,85}{Q} . \quad (3.20)$$

Максимальная нагрузка на крюке равна: $175 \text{ тонн} \times 9,81 \text{ м/с}^2 = 1766 \text{ кН}$.
 Расчет представлен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Результаты расчета

Q, кН	326	500	675	850	1025	1200	1375	1550	1640	1766
V _{ПОДЪЕМА} , м/с	1,61	1,05	0,78	0,617	0,51	0,44	0,38	0,34	0,32	0,297
V _{СПУСКА} , м/с	2,49	1,62	1,4	1,2	0,79	0,67	0,59	0,52	0,49	0,412

Механические характеристики привода представлены на рисунке 3.3.

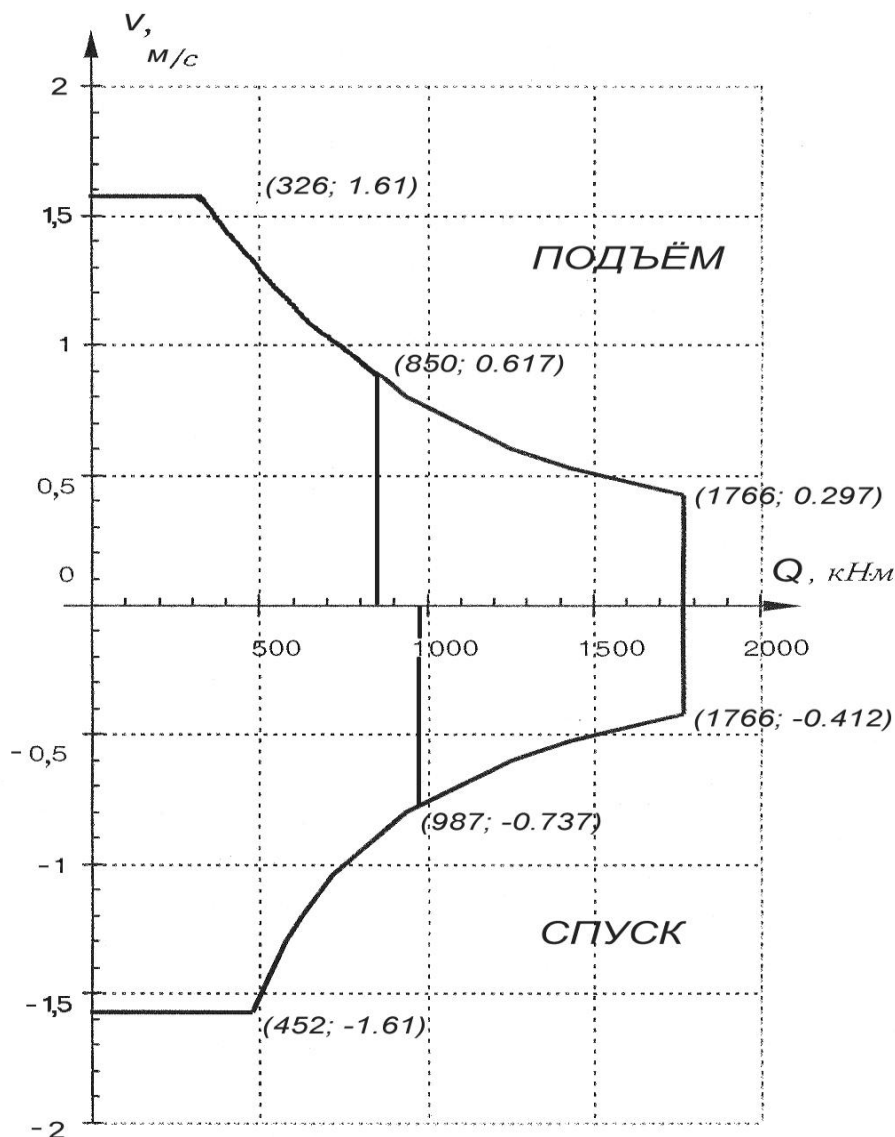


Рисунок 3.3 - Механические характеристики привода лебедки

Максимальная скорость двигателя (в о.е.) связана с весом буровой колонны (в свечах) следующими соотношениями:

– при подъеме

$$\omega_{\text{ПОДЪЕМА}} = \frac{P_p \cdot \eta_{\text{пер.}} \cdot \eta_{\text{тс}} \cdot 2 \cdot i_{\text{ПЕР}} \cdot i_{\text{ТС}}}{Q \cdot m_o \cdot g \cdot D_{\text{БР}} \cdot \omega_n} = \frac{600 \cdot 0,914 \cdot 0,956 \cdot 2 \cdot i_{\text{ПЕР}} \cdot 8}{Q \cdot 0,91 \cdot 9,81 \cdot 0,594 \cdot 104,6} = \frac{15,12 \cdot i_{\text{ПЕР}}}{Q},$$

где Q - вес (в свечах);

$m_o = 0,91$ тонн - вес одной свечи;

$g = 9,81$ м/с² - ускорение свободного падения;

$\omega_n = 104,6$ рад/с - номинальная скорость двигателя.

– при спуске:

$$\omega_{\text{СПУСКА}} = \frac{P_p \cdot 2 \cdot i_{\text{ПЕР}} \cdot i_{\text{ТС}}}{Q \cdot m_o \cdot g \cdot D_{\text{БР}} \cdot \omega_n \cdot \eta_{\text{пер.}} \cdot \eta_{\text{тс}} \cdot K_B} =$$

$$= \frac{600 \cdot 2 \cdot i_{\text{ПЕР}} \cdot 8}{Q \cdot 0,91 \cdot 9,81 \cdot 0,594 \cdot 104,6 \cdot 0,914 \cdot 0,956 \cdot 0,85} = \frac{23,3 \cdot i_{\text{ПЕР}}}{Q}.$$

При весе колонны 74 свечи (подъем) происходит переключение передач.

При спуске переключение передач производится при весе 110 свеч.

Расчет представлен в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Результаты расчета

Q, свеч	37	45	53	61	69	74	75	85	100	116
$\omega_{\text{ПОДЪЕМА}}$, о.е.	1,58	1,3	1,1	0,96	0,85	0,79	1,61	1,45	1,24	1,06
$\omega_{\text{СПУСКА}}$, о.е.	1,61	1,61	1,61	1,48	1,31	1,22	1,20	1,06	0,90	1,61

Рисунок 3.3 иллюстрирует расчеты.

На основании полученных результатов выработаны рекомендации по эксплуатации проектируемой буровой лебедки.

Самый тяжелый режим работы буровой лебедки – это подъем бурильной колонны с максимальной глубины бурения – 2900 м. На эту глубину требуется 116 свеч. Для обеспечения максимальной загрузки по току двигателей и обеспечения максимального КПД, рекомендуется с глубины 2900 метров поднять 41 свечу на «тихой» передаче, после чего остальные 75 свеч поднимать на «быстрой» передаче в коробке передач.

Т.к. обсадные колонны, которые используются для закрепления скважины, имеют различный диаметр и толщину стенки, то их вес колеблется в широком диапазоне. Поэтому вес колонны обсадных труб длиной 2900 метров выходит за пределы грузоподъемности лебедки. На практике используют способ спуска обсадных труб, при котором скважина крепится обсадными трубами по мере ее углубления. После закрепления очередного участка, следующий участок проходится меньшим диаметром долота.

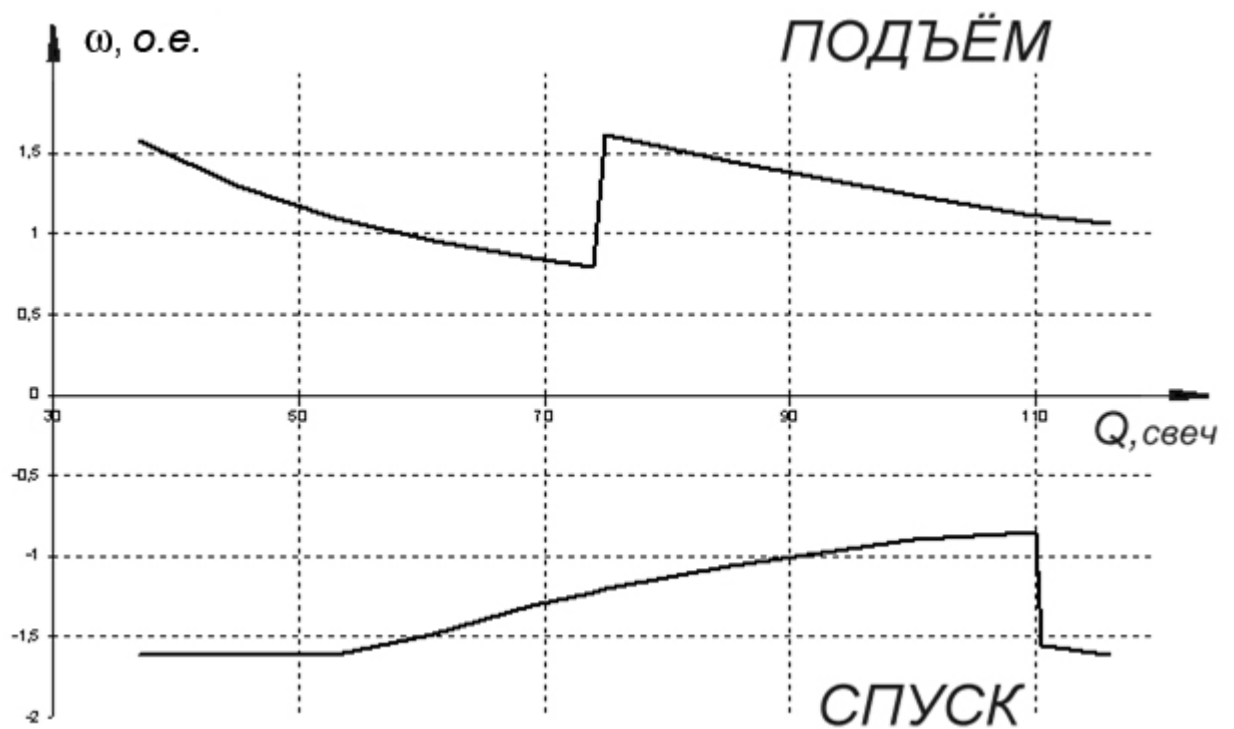


Рисунок 3.4 - Связь максимальной скорости двигателя (в о.е.) с весом бурильной колонны (в свечах)

Выводы по разделу три

В данном разделе приведены основные технические данные буровой установки, произведен расчет и выбор основных параметров привода буровой лебедки, а именно, предварительный выбор мощности привода, расчет предельных ускорений в переходных режимах. Выполнена проверка двигателя по нагреву, для чего был проведен расчет нагрузочной диаграммы при подъеме колонны труб с глубины 2900 м, 116 свеч. Также выполнен расчет механических характеристик двигателя и привода лебедки.

4 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

4.1 Описание системы

Управление скоростью двигателей двухзонное с зависимым управлением током возбуждения. САР электропривода лебедки подчиненного типа и состоит из двух контуров регулирования якорной цепи и зависимого контура регулирования тока возбуждения [4].

Контуры регулирования тока и скорости цифровые и выполнены программным путем в цифровом приводе Simoreg 6RA7088-6KS22 фирмы SIEMENS (рисунок 4.1, таблица 4.1). Задание структуры САР проводится путем настройки параметров привода. Также некоторая часть САР выполнена программным путем.



Рисунок 4.1 – Приводы Simoreg

Таблица 4.1 – Техническая характеристика привода 6RA7088

Параметр	Значение
Тип оборудования	электропривод постоянного тока, цифровой автоматический регулятор (преобразователь) постоянного тока, тиристорный преобразователь (конвертер) постоянного тока, DC Converter, DC Drives, DC Stromrichter

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
						35

Окончание таблицы 4.1

Параметр	Значение
Модель электропривода	Siemens Simoreg DC Master
Напряжение питания, В	3АС, 690В +10%/-20%
Номинальная входная частота, Гц	от 45 до 65
Управление двигателем	1-квadrантное
Питание электроники	2АС, от 380В (-25%) до 460В (+15%), I _{ном.} =1А или 1АС, от 190В (-25%) до 230В (+15%), I _{ном.} =2А
Номинальное постоянное напряжение, В	830
Выходной постоянный ток, А	950
Номинальный ток якоря, А	788
Номинальная мощность, кВт	789
Питание обмотки возбуждения	2×460В АС (+15%, -20%)
Ток обмотки возбуждения, А	30
Дискретные входы (24В)	4 шт.
Дискретные выходы (24В, 10 мА)	2 шт.
Аналоговый вход (-10В...+10В, 0...20мА, 4...20мА)	2 шт.
Аналоговый вход датчика температуры двигателя (КТУ84, РТС)	1 шт.

Задание скорости подъема или спуска поступает с выхода сельсинного командоаппарата (СКА).

С выхода КА сигнал поступает на схему ограничения сигнала задания. Система состоит из двух узлов – узла ограничения сигнала задания скорости подъема и узла ограничения скорости спуска. Необходимость в двух узлах ограничения скорости вытекает из природы момента созданного грузом. Т.к. при подъеме движущим моментом является момент двигателя, то ограничение сигнала задания однозначно ограничивает скорость подъема.

При спуске движущим моментом является момент, созданный грузом и поэтому величина ограничения должна быть пропорциональна величине груза.

Задачей узла ограничения скорости спуска является вычисление величины максимально допустимой скорости спуска в зависимости от величины груза:

$$\omega_{\max} = \frac{P_{\max}}{M_c}, \quad (4.1)$$

где P_{\max} - уставка мощности, задаваемая при наладке;

M_c - статический момент двигателя.

Максимальная скорость подъема будет обратно пропорциональна весу поднимаемой колонны.

										Лист
										36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ					

Величина статического момента M_c вычисляется по сигналу датчика веса по формулам:

$$M_c = K_1 \cdot \frac{Q}{i_{\text{пер.}}} \quad - \text{при подъеме}; \quad (4.2)$$

$$M_c = K_2 \cdot \frac{Q}{i_{\text{пер.}}} \quad - \text{при спуске}, \quad (4.3)$$

где Q - вес груза, измеренный по сигналу датчика веса;

$i_{\text{пер.}}$ - передаточное отношение трансмиссии.

Ускорение разгона и спуска:

- если $\omega < \omega_n$, то

$$\varepsilon_p = \frac{2 \cdot M_n - M_c}{J_\Sigma}; \quad (4.4)$$

- если $\omega > \omega_n$, то

$$\varepsilon_p = (1,8 \cdot \frac{M_n \cdot \omega_n}{\omega_{\text{max}}} - M_c) / J_\Sigma; \quad (4.5)$$

$$\varepsilon_3 = (1,8 \cdot \frac{M_n \cdot \omega_n}{167,4} - M_c) / J_\Sigma. \quad (4.6)$$

Для сигнала обратной связи по скорости используется сигнал, снимаемый с тахогенератора постоянного тока. Для вычисления пути талевого блока на подъемном валу лебедки установлен датчик импульсов (ДИ) типа POG-10DN10001. При вращении ДИ вырабатывает три последовательности импульсов в трех отдельных каналах.

По данным ДИ вычисляются:

- направление вращения;
- путь, пройденный талевым блоком и его местонахождение;
- сигналы для управления приводом лебедки в функции положения талевого блока.

По сигналам датчика импульсов ДИ вырабатываются сигналы на ограничение задания на скорость при:

- подъеме талевого блока выше 22,1 м относительно разъема ключа;
- спуске талевого блока, не доходя 2,6 м относительно разъема ключа.

Если сигнал заданной скорости спуска меньше вычисленного узлом ограничения, то он проходит дальше на вход задатчика интенсивности (ЗИ) без ограниче-

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

ния, если наоборот, то на вход ЗИ проходит сигнал, пропорциональный допустимой скорости спуска.

Таким образом, на один вход регулятора скорости поступает соответствующим образом обработанный сигнал задания с сельсинного командоаппарата, а на второй вход – противоположный по знаку сигнал обратной связи по скорости, снимаемый с тахогенератора, установленного на валу двигателя.

Выход регулятора скорости является заданием тока якоря.

На вход регулятора тока подается сигнал обратной связи по току. Он снимается с трансформаторов тока, установленных на силовом входе по переменному напряжению тиристорного преобразователя двигателя. Сигнал выпрямляется, фильтруется и подается на вход регулятора тока.

Выход регулятора тока является управляющим напряжением для системы импульсно-фазового управления (СИФУ) силового тиристорного преобразователя ТПЯ.

Ограничение тока якорной цепи двигателя осуществляется ограничением выхода регулятора скорости (ограничением задания регулятора тока).

Контур возбуждения выполнен следующим образом:

Ослабление потока возбуждения производится за счет уменьшения верхнего ограничения регулятора тока возбуждения. Пока привод работает в первой зоне регулятор ЭДС находится на ограничении и выход регулятора ЭДС держит верхнюю уставку регулятора тока возбуждения на таком уровне, что $I_b = I_{bn}$. Во второй зоне регулятор ЭДС сходит с ограничения и сигнал на его выходе начинает уменьшаться, зажимая уставку регулятора тока возбуждения. Поток уменьшается. Эта система сходна по принципу действия с системой с переключающимися обратными связями. Здесь также обратная связь в первой зоне замкнута по току возбуждения, а во второй зоне обратная связь замыкается по ЭДС.

При достижении ЭДС двигателя номинального значения РЭ сходит с ограничения и выходной сигнал регулятора ЭДС уменьшается, возвращая ЭДС двигателя на номинальный уровень.

В этих условиях (работа во 2-й зоне) увеличение задания на скорость вначале приводит к увеличению напряжения якоря и ЭДС двигателя, а затем РЭ возвращает ЭДС к прежнему уровню, снижая ток возбуждения.

При повороте рукоятки сельсинного командоконтроллера ВПЕРЕД от нулевого положения до половины максимального угла поворота напряжение на выходе силового тиристорного преобразователя растет соответственно от нуля до номинального значения, при этом поддерживается номинальное значение тока возбуждения.

При дальнейшем увеличении угла поворота рукоятки сельсинного командоаппарата происходит ослабление потока возбуждения двигателя.

Таким образом, производится регулирование скорости двигателей лебедки от нуля до максимальной.

Структура САР электропривода лебедки в режиме рекуперативного торможения та же, что и в режиме подъема.

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

Функциональная схема привода приведена на рисунке 4.2, а структурная схема привода – на рисунке 4.3.

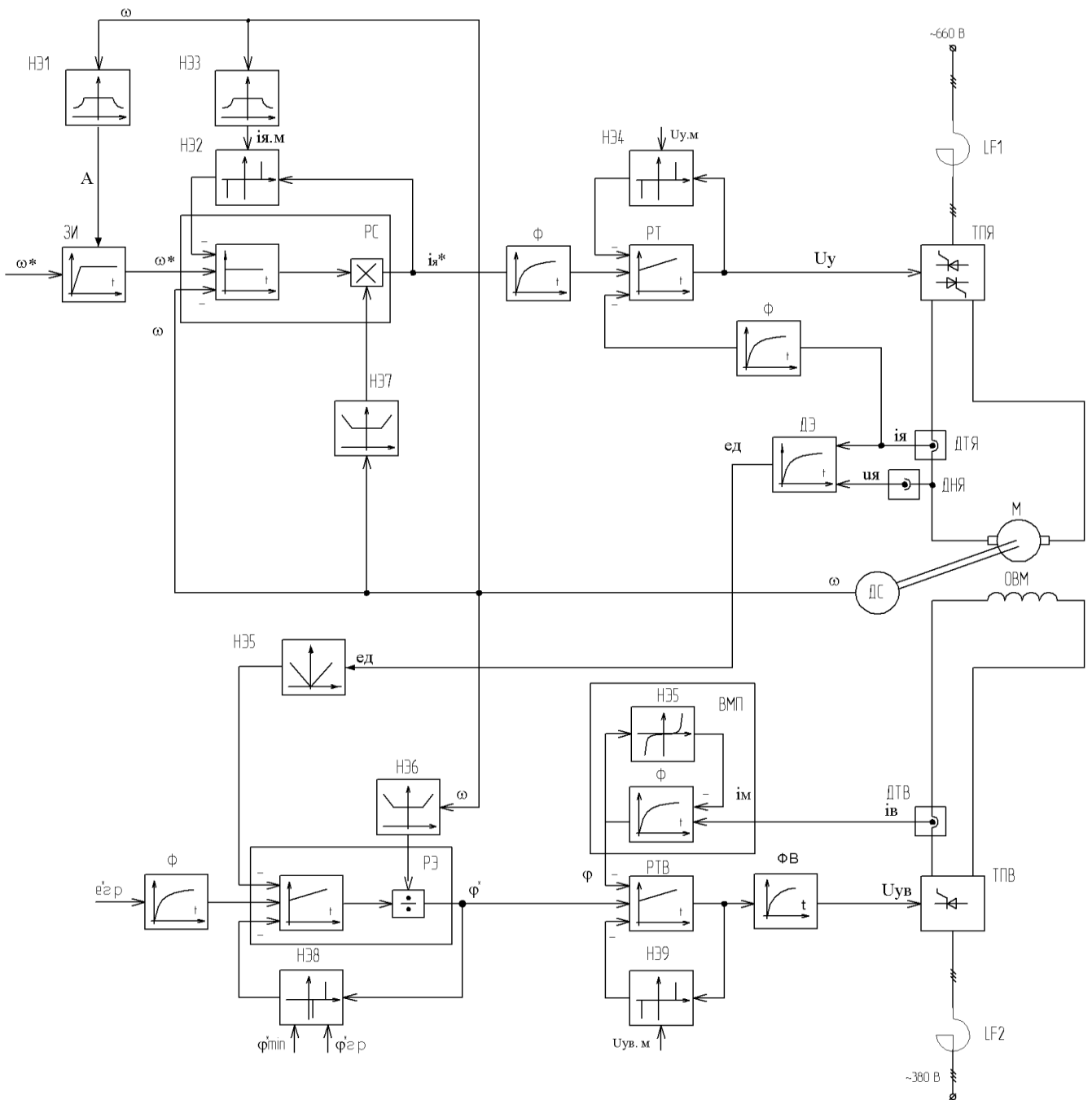


Рисунок 4.2 - Функциональная схема электропривода лебедки

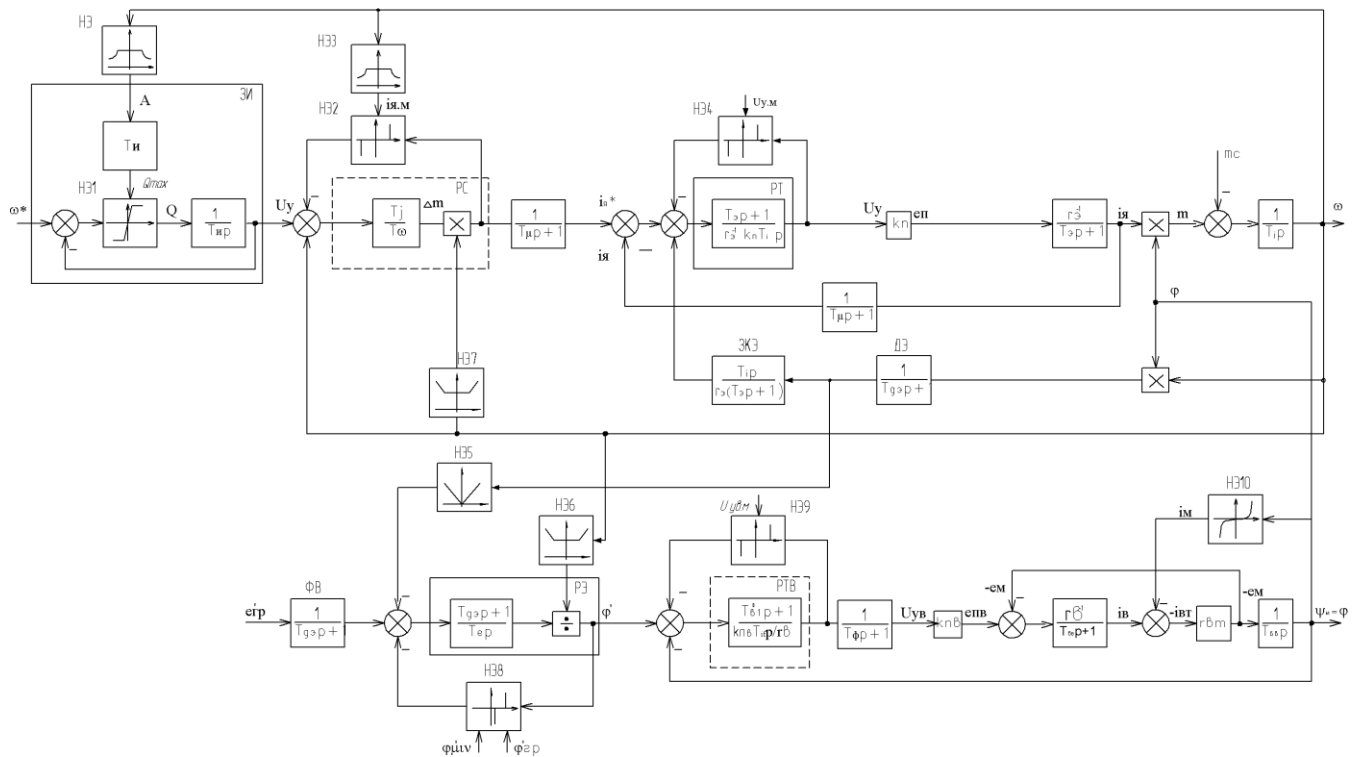


Рисунок 4.3 - Структурная схема электропривода лебедки

4.2 Исходные данные для расчета

1) Токоограничивающие реакторы

Индуктивное сопротивление, мОм.....9,37

Активное сопротивление, мОм.....0,82

2) Вентильный преобразователь якорной цепи

Номинальное выпрямленное напряжение, U_{dN} , В.....800

Номинальный выпрямленный ток, I_{dN} , А.....950

Схема выпрямления – трехфазная мостовая

СИФУ – с пилообразным опорным напряжением

Амплитудное значение напряжения сравнения, U_M , В.....10

Напряжение питания тиристорного преобразователя, U_2 , В.....660

3) Вентильный преобразователь цепи возбуждения

Номинальное выпрямленное напряжение, U_{dN} , В..... 307

Номинальный выпрямленный ток, I_{dN} , А.....30

Схема выпрямления – трехфазная мостовая.

Напряжение питания тиристорного преобразователя, U_2 , В.....380

СИФУ с пилообразным напряжением сравнения

Амплитудное значение напряжения сравнения, U_M , В.....10

4) Сглаживающий дроссель

Номинальный ток, А.....1250

Индуктивность, $L_{др}$, Гн $2,8 \cdot 10^{-3}$

Активное сопротивление, мОм.....1,344

5) Датчик скорости

Номинальное выходное напряжение, В.....	220
Номинальный ток, А.....	0,5
Номинальная частота вращения, об/мин.....	1500
Крутизна выходного напряжения, мВ/(об/мин).....	60

6) Датчик тока якоря

Коэффициент датчика тока якоря, $K_{дт}$, В/А.....	0,008235
---	----------

7) Датчик тока возбуждения

Коэффициент передачи, $K_{дтв}$, В/А.....	0,323
--	-------

4.3 Расчет параметров якорной цепи

Суммарное активное сопротивление якорной цепи:

$$R_{\Sigma} = R_{сд} + R_{дв} + 2 \cdot R_{тр} + 2 \cdot R_{дин} + R_{к} = 1,344 \cdot 10^{-3} + 27,2 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,82 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 1,76 \cdot 10^{-3} + 8,95 \cdot 10^{-3} = 42,65 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}, \quad (4.7)$$

где $R_{сд}$ – сопротивление сглаживающего дросселя, Ом;

$R_{дв}$ – сопротивление двигателя, Ом;

$R_{тр}$ – сопротивление токоограничивающих реакторов, Ом;

$R_{дин}$ – динамическое сопротивление тиристоров, Ом;

$R_{к}$ – сопротивление, обусловленное коммутацией вентиляей, Ом.

$$R_{сд} = 1,344 \cdot 10^{-3} \text{ Ом},$$

$$R_{дв} = 1,35(0,00132 + 0,00355 + 0,00338) = 42,65 \cdot 10^{-3} \text{ Ом},$$

$$R_{тр} = 0,82 \cdot 10^{-3} \text{ Ом},$$

$$R_{дин} = \frac{1,5}{I_{дн}} = \frac{1,5}{850} = 1,79 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}, \quad (4.8)$$

$$R_{к} = 3 \cdot \frac{\pi}{X_{т}} = 3 \cdot \frac{\pi}{9,37 \cdot 10^{-3}} = 8,95 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}. \quad (4.9)$$

Суммарная индуктивность якорной цепи:

$$L_{\Sigma} = L_{сд} + K_{п} \cdot X_{т} / \omega_c + L_{дв} = 2,8 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 9,37 \cdot 10^{-3} / 314 + 0,52 \cdot 10^{-3} = 3,38 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}, \quad (4.10)$$

где $L_{сд}$ – индуктивность сглаживающего дросселя, Гн;

$X_{т}$ – индуктивное сопротивление токоограничивающего реактора, Ом;

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

$L_{\text{ДВ}}$ – индуктивность якоря двигателя, Гн.

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи:

$$T_{\Theta} = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{3,38 \cdot 10^{-3}}{42,65 \cdot 10^{-3}} = 0,079 \text{ с.} \quad (4.11)$$

Коэффициент двигателя:

$$K_{\Phi} = \frac{U_n - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}}{\omega_n} = \frac{800 - 850 \cdot 0,0272}{104,6} = 7,086. \quad (4.12)$$

Электромеханическая постоянная времени:

$$T_M = \frac{J R_{\Sigma}}{(C_M \Phi_N)^2}; \quad (4.13)$$

$$T_M = \frac{120,66 \cdot 42,65 \cdot 10^{-3}}{(7,086)^2} = 0,1025 \text{ с - для «быстрой» передачи;}$$

$$T_M = \frac{72,842 \cdot 42,65 \cdot 10^{-3}}{(7,086)^2} = 0,0619 \text{ с - для «тихой» передачи.}$$

Максимальная ЭДС преобразователя:

$$E_{\text{до}} = K_e \cdot U_{2\text{н}} = 1,35 \cdot 690 = 931,5 \text{ В.} \quad (4.14)$$

Номинальная ЭДС:

$$E_{\text{дн}} = U_n - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}} = 800 - 850 \cdot 0,0272 = 774,88 \text{ В.} \quad (4.15)$$

Система базисных величин:

$$U_{\sigma} = E_{\text{дн}} = 774,88 \text{ В;}$$

$$I_{\sigma} = I_{\text{яН}} = 850 \text{ А;}$$

$$\omega_{\sigma} = \omega_n = 104,6 \text{ рад/с;}$$

$$M_{\sigma} = M_n = 6023 \text{ Н} \cdot \text{м;}$$

$$U_{\sigma\text{р}} = 7 \text{ В;}$$

$$R_{\sigma} = U_{\sigma} / I_{\sigma} = 774,88 / 850 = 0,912 \text{ Ом.}$$

Механическая постоянная времени привода:

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

$$T_j = J \cdot \omega_{\sigma} / M_{\sigma} = 120,66 \cdot 104,6 / 6023 = 2,095 \text{ с} - \text{быстрая передача}; \quad (4.16)$$

$$T_j = J \cdot \omega_{\sigma} / M_{\sigma} = 72,8429 \cdot 104,6 / 6023 = 1,265 \text{ с} - \text{тихая передача}.$$

Коэффициент передачи ТП в о.е.:

$$k_{\Pi} = K_{\Pi} \cdot U_{\text{бр}} / U_{\sigma} = 93,15 \cdot 7 / 774,88 = 0,84 \text{ о.е.}$$

Активное сопротивление цепи якоря в о.е.:

$$r_{\sigma} = R_{\sigma} / R_{\sigma} = 42,65 \cdot 10^{-3} / 0,912 = 0,0468 \text{ о.е.} \quad (4.17)$$

Максимальная ЭДС преобразователя в о.е.:

$$e_{\text{до}} = E_{\text{до}} / U_{\sigma} = 931,5 / 774,88 = 1,2 \text{ о.е.}$$

Номинальная ЭДС преобразователя в о.е.:

$$e_n = U_{\text{яН}} / U_{\sigma} = 800 / 774,88 = 1,032 \text{ о.е.}$$

Коэффициент передачи СИФУ в о.е.:

$$k_{\alpha} = \frac{d_{\alpha}}{d_{U_y}} \cdot \frac{U_{\text{бр}}}{57,3} = \frac{180}{20} \cdot \frac{7}{57,3} = 1,099 \text{ о.е.} \quad (4.18)$$

Напряжение управления, обеспечивающее номинальную ЭДС преобразователя в о.е.:

$$U_y = \frac{\arcsin(e_n / e_{\text{до}})}{k_{\alpha}} = \frac{\arcsin(1,032 / 1,2)}{1,099} = 0,942 \text{ о.е.} \quad (4.19)$$

Коэффициент передачи ТП в номинальной точке:

$$k_{\Pi} = e_{\text{до}} \cdot k_{\alpha} \cdot \cos(k_{\alpha} \cdot U_y) = 1,2 \cdot 1,099 \cdot \cos(1,099 \cdot 0,942) = 0,673 \text{ о.е.}$$

Коэффициенты передачи датчиков тока, скорости, ЭДС в абсолютных величинах:

$$K_{\text{дт}} = k_{\text{дт}} \cdot U_{\text{бр}} / I_{\sigma} = 1 \cdot 7 / 850 = 8,235 \cdot 10^{-3} \text{ В/А};$$

$$K_{\text{дс}} = k_{\text{дс}} \cdot U_{\text{бр}} / \omega_{\sigma} = 1 \cdot 7 / 104,6 = 0,0669 \text{ В} \cdot \text{С};$$

$$K_{\text{дэ}} = k_{\text{дэ}} \cdot U_{\text{бр}} / U_{\sigma} = 1 \cdot 7 / 774,88 = 9,034 \cdot 10^{-3}.$$

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

4.4 Расчет параметров цепи возбуждения

Исходные данные: $I_{вн} = 21,7 \text{ А}$; $\Phi_n = 0,1067 \text{ Вб}$.

Диапазон ослабления поля:

$$\frac{\Phi}{\Phi_n} = \frac{\omega_n}{\omega_{\max}} = \frac{104,6}{167,4} = 0,621. \quad (4.20)$$

Значение тока возбуждения при ослабленном поле (находится по кривой намагничивания двигателя):

$$I_b = 0,46 \cdot I_{вн} = 0,46 \cdot 21,7 = 9,98 \text{ А}. \quad (4.21)$$

Номинальное значение потока рассеяния:

$$\Phi_{\sigma N} = \sigma \cdot \Phi_N = 0,18 \cdot 0,1067 = 0,0192 \text{ Вб}. \quad (4.22)$$

Номинальное значение главного потокосцепления:

$$\Psi_{MN} = 2 \cdot p \cdot w_B \cdot \Phi_N = 2 \cdot 2 \cdot 329 \cdot 0,1067 = 140,42 \text{ Вс}, \quad (4.23)$$

где w_B - число витков обмотки возбуждения;

p - число пар полюсов двигателя.

Активное сопротивление обмотки возбуждения:

$$R_{\text{оВ}}' = k_t \cdot R_{\text{оВ}} = 1,35 \cdot 4,4 = 5,94 \text{ Ом}, \quad (4.24)$$

где k_t - коэффициент, учитывающий изменение сопротивления при нагреве.

Активное сопротивление эквивалентного контура вихревых токов:

$$R_{\text{вТ}} = \frac{R_{\text{оВ}}'}{\alpha_{\text{вТ}}} = \frac{5,94}{0,1} = 59,4 \text{ Ом}, \quad (4.25)$$

где $\alpha_{\text{вТ}}$ - коэффициент.

Система базисных величин:

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

$$\begin{aligned}
I_{\text{об}} &= I_{\text{вн}} = 21,7 \text{ А}; \\
R_{\text{об}} &= R_{\text{об}} = 5,94 \text{ Ом}; \\
U_{\text{об}} &= R_{\text{об}} \cdot I_{\text{об}} = 5,94 \cdot 21,7 = 128,9 \text{ В}; \\
\Psi_{\text{об}} &= \Psi_{\text{мн}} = 140,42 \text{ Вб}; \\
\Phi_{\text{об}} &= \Phi_{\text{н}} = 0,1067 \text{ Вб}; \\
T_{\text{об}} &= \Psi_{\text{об}} / I_{\text{об}} = 140,42 / 21,7 = 6,47 \text{ Гн}; \\
L_{\text{об}} &= \Psi_{\text{об}} / I_{\text{об}} = 140,42 / 21,7 = 6,47 \text{ Гн}; \\
U_{\text{бр}} &= 7 \text{ В}.
\end{aligned}$$

Кривую намагничивания можно аппроксимировать полиномом:

$$i_M = A \cdot \Psi_m + B \cdot \Psi_m^3. \quad (4.26)$$

Для нахождения коэффициентов A и B используем 2 точки: номинальный режим и при ослабленном потоке:

$$\begin{aligned}
1 &= A \cdot 1 + B \cdot 1^3 \\
0,46 &= A \cdot 0,62 \cdot 1 + B \cdot 0,62 \cdot 1^3
\end{aligned}$$

Отсюда $A = 0,578$; $B = 0,422$.

Индуктивность, обусловленная главным потоком машины (в номинальной точке):

$$L_m^{\circ} = \frac{d\Psi_m}{dI_m} = \frac{1}{A + 3 \cdot B \cdot \Psi_m^2} = \frac{1}{0,578 + 3 \cdot 0,422 \cdot 0,62^2} = 0,938 \text{ о.е.} \quad (4.27)$$

Индуктивность, обусловленная главным потоком машины (при ослабленном потоке):

$$L_m^{\circ} = \frac{d\Psi_m}{dI_m} = \frac{1}{A + 3 \cdot B \cdot \Psi_m^2} = \frac{1}{0,578 + 3 \cdot 0,422 \cdot 1^2} = 0,542 \text{ о.е.} \quad (4.28)$$

Индуктивность рассеивания:

$$L_b^{\sigma} = 0,18 \text{ о.е.}$$

Индуктивность обмотки возбуждения при номинальном потоке:

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

$$L_B^{\circ} = L_m^{\circ} + L_B^{\sigma} = 0,542 + 0,18 = 0,722 \text{ о.е.} \quad (4.29)$$

Индуктивность обмотки возбуждения при ослабленном потоке:

$$L_B^{\circ} = L_m^{\circ} + L_B^{\sigma} = 0,938 + 0,18 = 1,118 \text{ о.е.}$$

Активное сопротивление обмотки возбуждения в о.е.:

$$r_B = R_{\text{об}}/R_{\text{об}} = 5,94/5,94 = 1 \text{ о.е.} \quad (4.30)$$

Активное сопротивление эквивалентного контура вихревых токов:

$$r_{\text{вТ}} = R_{\text{вТ}}/R_{\text{об}} = 59,4/5,94 = 10 \text{ о.е.} \quad (4.31)$$

Постоянные времени цепей схемы замещения:

– при номинальном потоке

$$T_B^{\sigma} = \frac{T_{\text{об}} \cdot L_B^{\sigma}}{r_B} = \frac{1,0894 \cdot 0,722}{1} = 0,196 \text{ с}; \quad T_{\text{вТ}}^{\circ} = T_{\text{об}} \cdot \frac{L_m^{\circ}}{r_{\text{вТ}}} = 1,0894 \cdot \frac{0,542}{10} = 0,059 \text{ с};$$

$$T_B^{\circ} = T_{\text{об}} \cdot \frac{L_B^{\circ}}{r_B} = 1,0894 \cdot \frac{0,722}{1} = 0,786 \text{ с};$$

– при ослабленном потоке

$$T_B^{\sigma} = \frac{T_{\text{об}} \cdot L_B^{\sigma}}{r_B} = \frac{1,0894 \cdot 0,722}{1} = 0,196 \text{ с}; \quad T_{\text{вТ}}^{\circ} = T_{\text{об}} \cdot \frac{L_m^{\circ}}{r_{\text{вТ}}} = 1,0894 \cdot \frac{0,938}{10} = 0,102 \text{ с};$$

$$T_B^{\circ} = T_{\text{об}} \cdot \frac{L_B^{\circ}}{r_B} = 1,0894 \cdot \frac{1,118}{1} = 1,218 \text{ с.}$$

Максимальная ЭДС преобразователя цепи возбуждения:

$$E_{\text{до}} = K_e \cdot U_2 = 1,35 \cdot 205 = 276,75 \text{ В.}$$

Максимальная ЭДС преобразователя цепи возбуждения (в о.е.):

$$e_{\text{до}} = E_{\text{до}}/U_{\text{об}} = 276,75/128,9 = 2,15 \text{ о.е.}$$

Активное сопротивление вентильного преобразователя:

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

$$R_{\pi} = 2 \cdot R_{\text{тр}} + 2 \cdot r_{\text{дин}} + 3 \cdot X_T / \pi = 2 \cdot 0,11 + 2 \cdot 0,03 + 3 \cdot 0,15 / 3,14 = 0,42 \text{ Ом},$$

где:

$$R_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{кз}} / (3 \cdot I_{2\phi}^2) = 550 / (3 \cdot 41^2) = 0,11 \text{ Ом} - \text{акт. сопротивление фазы тр} - \text{ра};$$

$$r_{\text{дин}} = 1,5 / I_{\text{дн}} = 1,5 / 50 = 0,03 \text{ Ом} - \text{динамическое сопротивление тиристора};$$

$$X_T = \frac{U_{\text{кл}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{1ин}}^2}{S1} = \frac{5,2}{100} \cdot \frac{205^2}{14,6 \cdot 10^3} = 0,15 \text{ Ом} - \text{инд. сопр} - \text{е фазы тр} - \text{ра}.$$

Индуктивность вентильного преобразователя:

$$L_{\pi} = K_{\pi} \cdot X_T / \omega_c = 2 \cdot 0,15 / 314 = 9,55 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}. \quad (4.32)$$

Эквивалентное активное сопротивление цепи возбуждения:

$$R_B = R_{\text{об}} + R_{\pi} = 5,94 + 0,42 = 6,36 \text{ Ом}. \quad (4.33)$$

ЭДС преобразователя в точке $\phi=1$:

$$E_{\text{пв}}^0 = R_B \cdot I_{\text{вн}} = 6,36 \cdot 21,7 = 138,01 \text{ В}. \quad (4.34)$$

ЭДС преобразователя в точке $\phi=0,621$:

$$E_{\text{пв}}^0 = R_B \cdot I_{\text{вн}} = 6,36 \cdot 9,98 = 63,47 \text{ В}.$$

ЭДС преобразователя в точке $\phi=1$ (в о.е.):

$$e_{\text{пв}}^0 = E_{\text{пв}} / U_{\text{об}} = 138,01 / 128,9 = 1,071 \text{ о.е.}$$

ЭДС преобразователя в точке $\phi=0,621$ (в о.е.):

$$e_{\text{пв}}^0 = E_{\text{пв}} / U_{\text{об}} = 63,47 / 128,9 = 0,492 \text{ о.е.}$$

Коэффициент передачи СИФУ в о.е.:

$$k_{\alpha} = \frac{d_{\alpha}}{dU_y} \cdot \frac{U_{\text{бр}}}{57,3} = \frac{180}{20} \cdot \frac{7}{57,3} = 1,099 \text{ о.е.} \quad (4.35)$$

Напряжение управления, обеспечивающее $\phi=1$ (в о.е.):

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

$$U_y = \frac{\arcsin(e_n/e_{do})}{k_\alpha} = \frac{\arcsin(1,071/2,15)}{1,099} = 0,474 \text{ о.е.} \quad (4.36)$$

Напряжение управления, обеспечивающее $\phi=0,621$ (в о.е.):

$$U_y = \frac{\arcsin(e_n/e_{do})}{k_\alpha} = \frac{\arcsin(0,492/2,15)}{1,099} = 0,21 \text{ о.е.}$$

Коэффициент передачи преобразователя в точке $\phi=1$ (в о.е.):

$$k_{ПВ} = e_{do} \cdot k_\alpha \cdot \cos(k_\alpha \cdot U_y) = 2,15 \cdot 1,099 \cdot \cos(1,099 \cdot 0,474) = 2,09 \text{ о.е.}$$

Коэффициент передачи преобразователя в точке $\phi=0,621$ (в о.е.):

$$k_{ПВ} = e_{do} \cdot k_\alpha \cdot \cos(k_\alpha \cdot U_y) = 2,15 \cdot 1,099 \cdot \cos(1,099 \cdot 0,21) = 2,31 \text{ о.е.}$$

Коэффициент передачи датчика тока возбуждения:

$$K_{дГ} = k_{дГ} \cdot U_{бр}/I_{бВ} = 1 \cdot 7/21,7 = 0,323 \text{ В/А.}$$

Постоянные времени схемы замещения цепи возбуждения:

$$T_{B1,2}^o = \frac{T_1}{2} \pm \sqrt{(T_1/2)^2 - T_2^2}, \text{ где } T_1 = T_{вГ}^o + T_{в}^o, T_2^2 = T_{вГ}^o \cdot T_{в}^o; \quad (4.37)$$

– для $\phi=1$:

$$T_1 = T_{вГ}^o + T_{в}^o = 0,059 + 0,7865 = 0,8455 \text{ с,}$$

$$T_2^2 = T_{вГ}^o \cdot T_{в}^o = 0,059 \cdot 0,196 = 0,0116 \text{ с;}$$

$$T_{B1,2}^o = \frac{T_1}{2} \pm \sqrt{(T_1/2)^2 - T_2^2} = \frac{0,8455}{2} \pm \sqrt{(0,8455/2)^2 - (0,0116)^2};$$

$$T_{B1}^o = 0,8316 \text{ с; } T_{B2}^o = 0,0139 \text{ с;}$$

– для $\phi=0,621$:

$$T_1 = T_{вГ}^o + T_{в}^o = 0,102 + 1,218 = 1,32 \text{ с,}$$

$$T_2^2 = T_{вГ}^o \cdot T_{в}^o = 0,102 \cdot 0,196 = 0,019 \text{ с;}$$

$$T_{B1,2}^o = \frac{T_1}{2} \pm \sqrt{(T_1/2)^2 - T_2^2} = \frac{1,32}{2} \pm \sqrt{(1,32/2)^2 - (0,019)^2};$$

$$T_{B1}^o = 1,305 \text{ с; } T_{B2}^o = 0,0153 \text{ с.}$$

										Лист
										48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ					

Итак, параметры силовой части (цепь якоря) и цепи возбуждения приведены в таблицах 4.2 и 4.3, соответственно.

Таблица 4.2 – Параметры цепи якоря

Параметр	$K_{п}$, о.е.	$r_{э}$, о.е.	$T_{э}$, с	$T_{м}$, с	T_{j} , с	$K_{дт}$, о.е.	$K_{дс}$, о.е.	$K_{дэ}$, о.е.
Быстрая ($\phi=1$)	0,673	0,0468	0,079	0,102	2,095	1	1	1
Быстрая ($\phi=0,62$)	0,673	0,0468	0,079	0,2657	2,095	1	1	1
Тихая ($\phi=1$)	0,673	0,0468	0,079	0,0619	1,265	1	1	1
Тихая ($\phi=0,62$)	0,673	0,0468	0,079	0,160	1,265	1	1	1

Таблица 4.3 – Параметры цепи возбуждения

Параметр	$T_{в}^{\circ}$, с	$T_{в}^{\sigma}$, с	$T_{вт}^{\circ}$, с	$L_{м}^{\circ}$	$L_{в}^{\sigma}$	$r_{в}$	$r_{вт}$	$K_{пв}^{\circ}$	$K_{дтв}$	$K_{дэ}$	$T_{в1}^{\circ}$, с	$T_{в2}^{\circ}$, с
$\Phi=0,62$	0,786	0,196	0,059	0,542	0,18	1	10	2,09	1	1	0,832	0,014
$\Phi=1$	1,218	0,196	0,102	0,938	0,18	1	10	2,31	1	1	1,305	0,015

Постоянная времени T_{μ} :

$$T_{\mu\min} = \frac{\pi}{m \cdot \omega_c} = \frac{3,14}{6 \cdot 314} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ с.} \quad (4.38)$$

Принимаем: $T_{\mu} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$

4.5 Расчет параметров контура тока

Объектом регулирования в контуре тока является тиристорный преобразователь и якорная цепь двигателя:

$$W_i(p) = \frac{K_{п} \cdot r_{э}^{-1}}{T_{э} p + 1}. \quad (4.39)$$

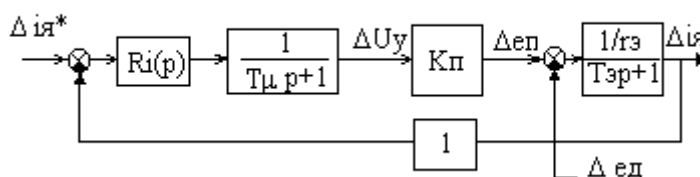


Рисунок 4.4 - Структурная схема контура тока

При настройке на модульный оптимум передаточная функция регулятора:

$$R_i(p) = W_i(p)^{-1} \cdot \frac{1}{T_i p} = \frac{T_3 p + 1}{2 \cdot k_{\pi} \cdot r_3^{-1} \cdot T_{\mu} p + 1},$$

где: $T_i = 2 \cdot T_{\mu}$;

$$R_i(p) = \frac{0,079p + 1}{2 \cdot 0,673 \cdot 0,0468^{-1} \cdot 3,2 \cdot 10^{-3} + 1} = \frac{0,079p + 1}{0,092p} = 0,858 + \frac{10,87}{p}.$$

Анализ влияния обратной связи по ЭДС:

$$i_{\text{яуст.}} = \frac{T_M}{T_M + 2 \cdot T_{\mu}} \cdot i_{\text{яуст.}}^* = \frac{0,0619}{0,0619 + 2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-3}} \cdot i_{\text{яуст.}}^* = 0,91 \cdot i_{\text{яуст.}}^* \quad (4.40)$$

Так как ошибка по току не превышает 10 %, то компенсации ЭДС не требуется (был рассмотрен худший случай $T_M = T_{M \min}$).

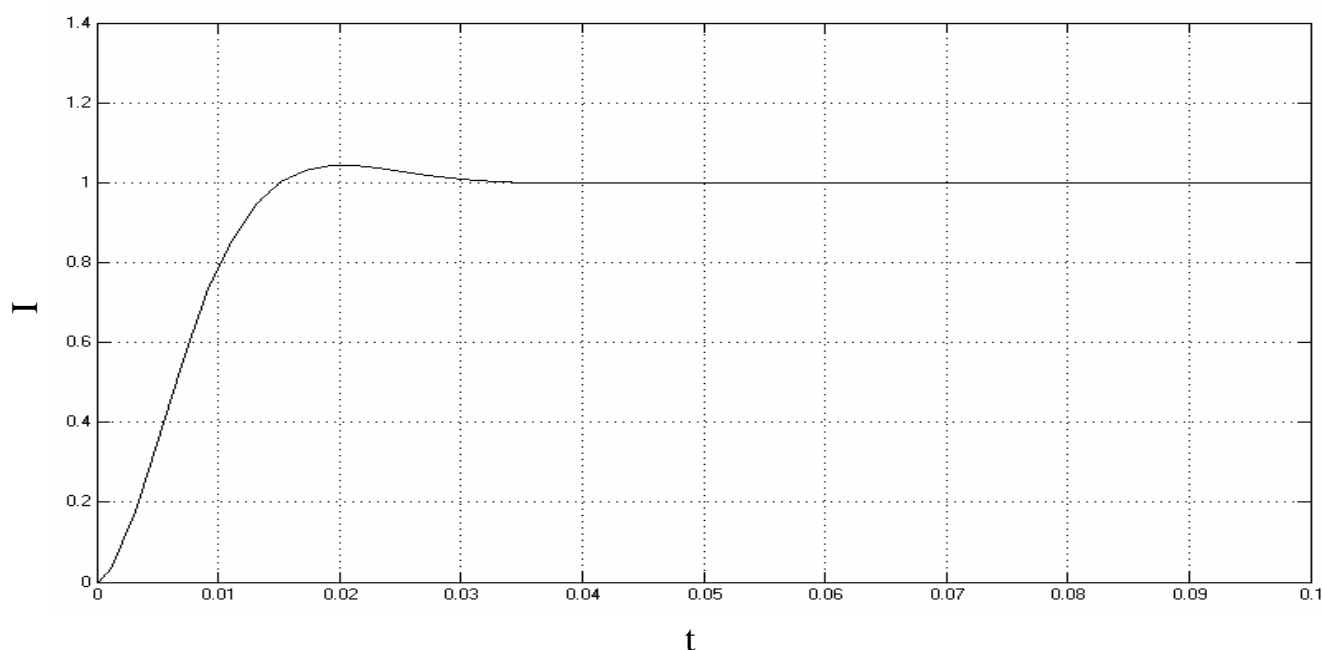


Рисунок 4.5 – Переходный процесс тока с компенсацией ЭДС

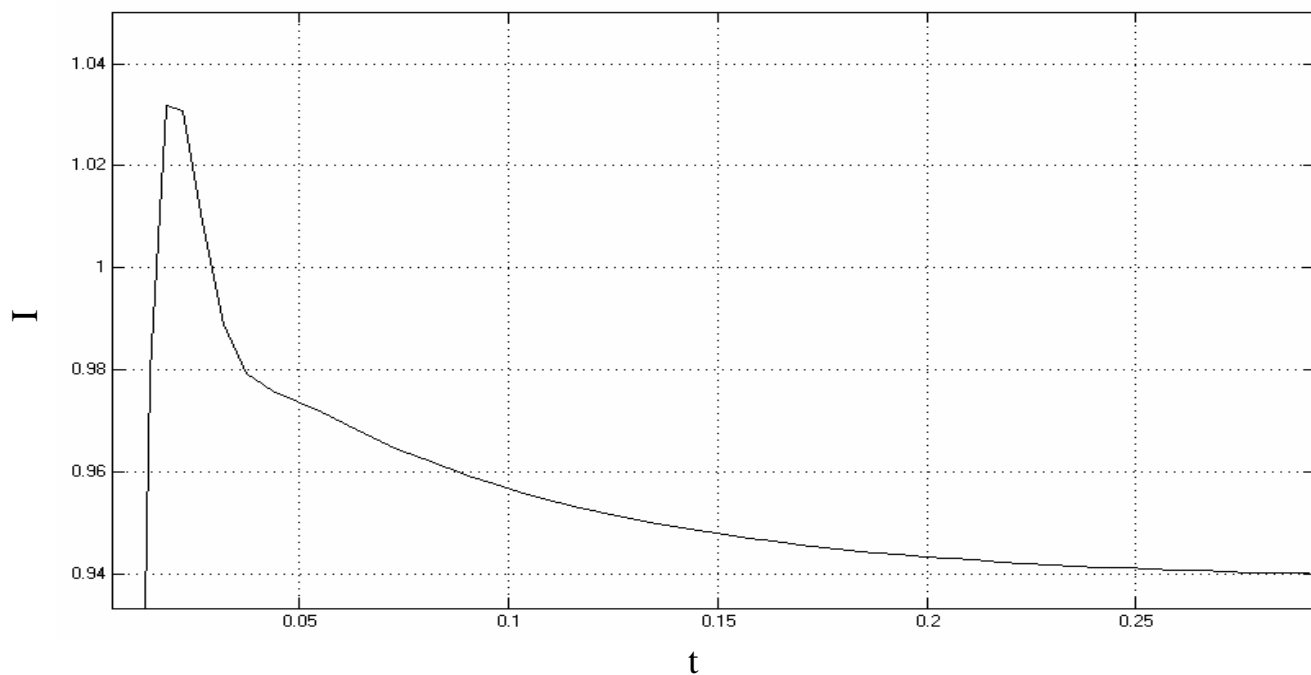


Рисунок 4.6 – Переходный процесс тока без компенсации ЭДС

Промоделируем контур тока в пакете Matlab. Результаты представлены на рисунке 4.7.

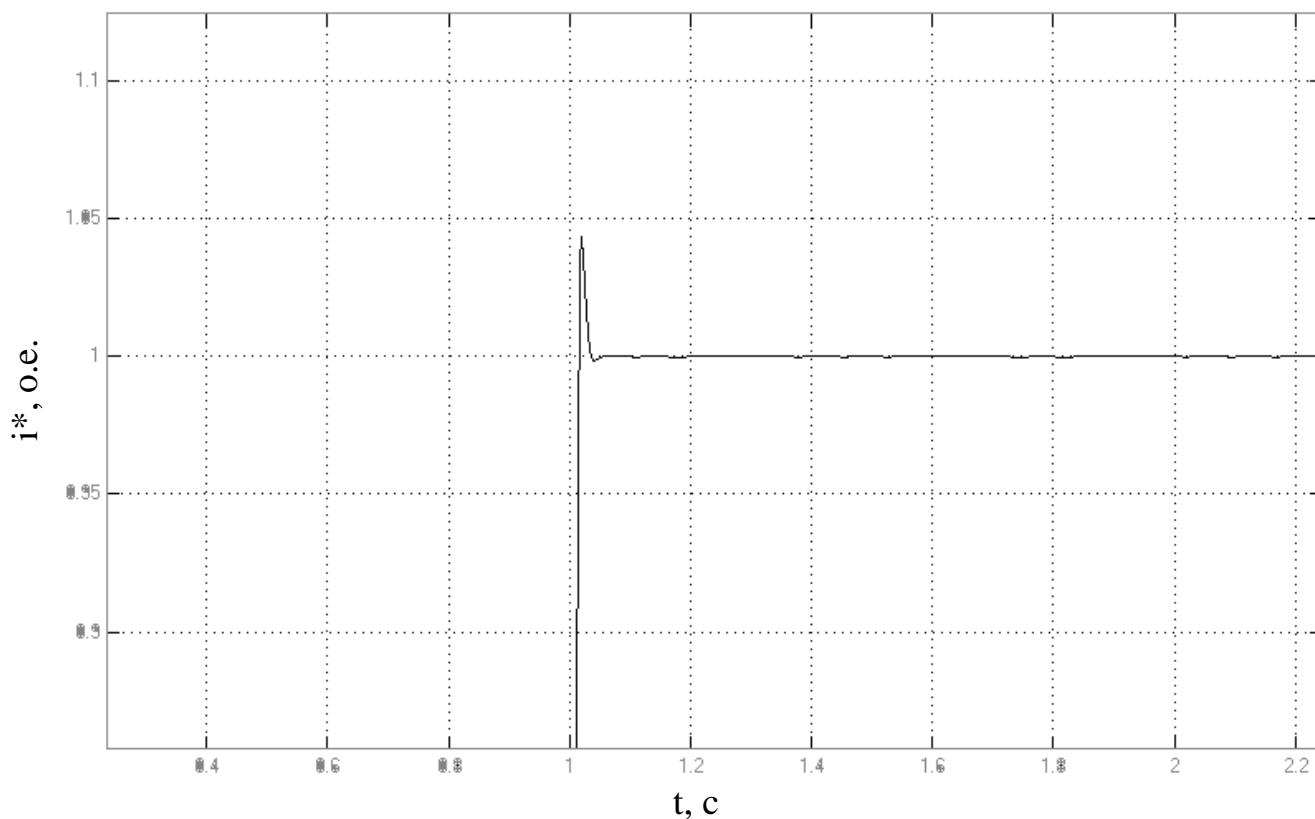


Рисунок 4.7 – Реакция контура тока на управляющее воздействие

4.6 Расчет параметров контура скорости

Синтез регулятора скорости производится аналогично контуру тока. Контур скорости имеет вид, показанный на рисунке 4.8.

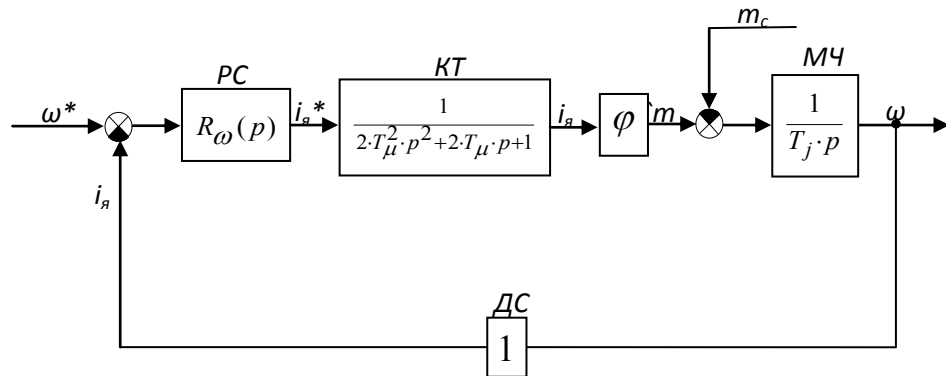


Рисунок 4.8 - Структурная схема контура регулирования скорости

При синтезе не учитывается m_c , т.е. передаточная функция объекта контура скорости имеет вид:

$$W_w(p) = \frac{1}{T_j p}. \quad (4.41)$$

Передаточная функция регулятора скорости определяется:

$$R_w(p) = \frac{W_w^{-1}(p)}{T_w p}; \quad (4.42)$$

$$R_w(p) = \frac{T_j}{T_w} - \text{П-регулятор}, \quad (4.43)$$

$T_w = 2T_i = 4T_\mu$ при условии настройки на модульный оптимум.

Передаточная функция разомкнутого контура:

$$G_w(p) = \frac{1}{4T_\mu p(2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1)}.$$

Передаточная функция замкнутого контура

$$\Phi(p) = \frac{1}{8T_\mu^3 p^3 + 8T_\mu^2 p^2 + 4T_\mu p + 1}.$$

Передаточная функция регулятора скорости:

$$R_w(p) = \frac{T_i}{4T_\mu}; \quad (4.44)$$

$$R_w(p) = \frac{2,095}{4 \cdot 0,0032} = 163,672.$$

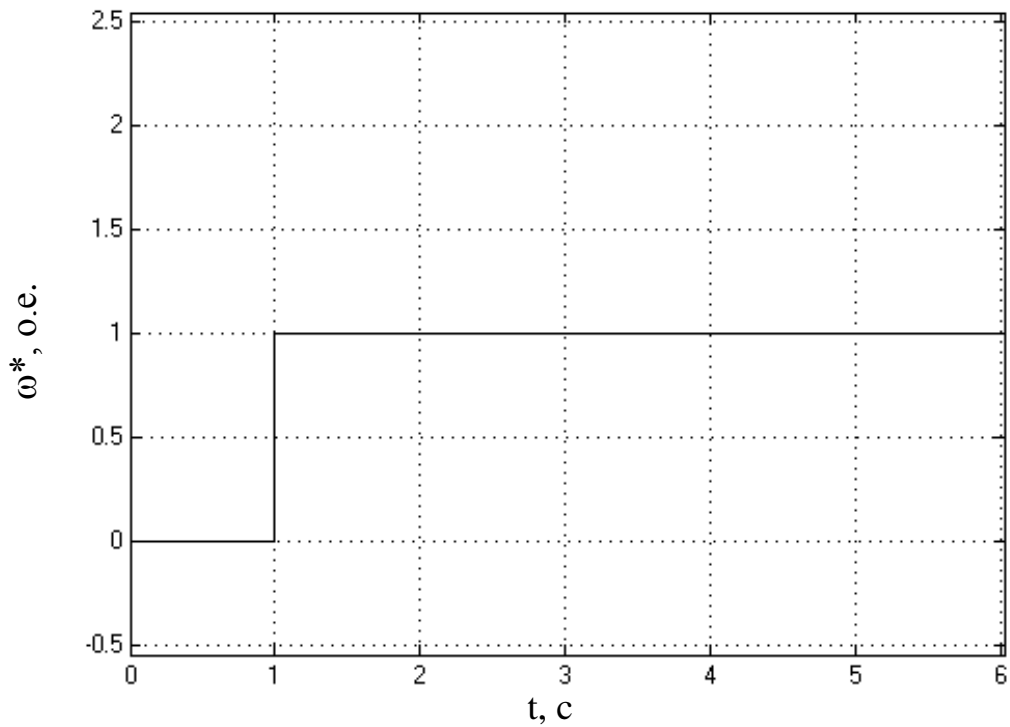


Рисунок 4.9 - Управляющее воздействие

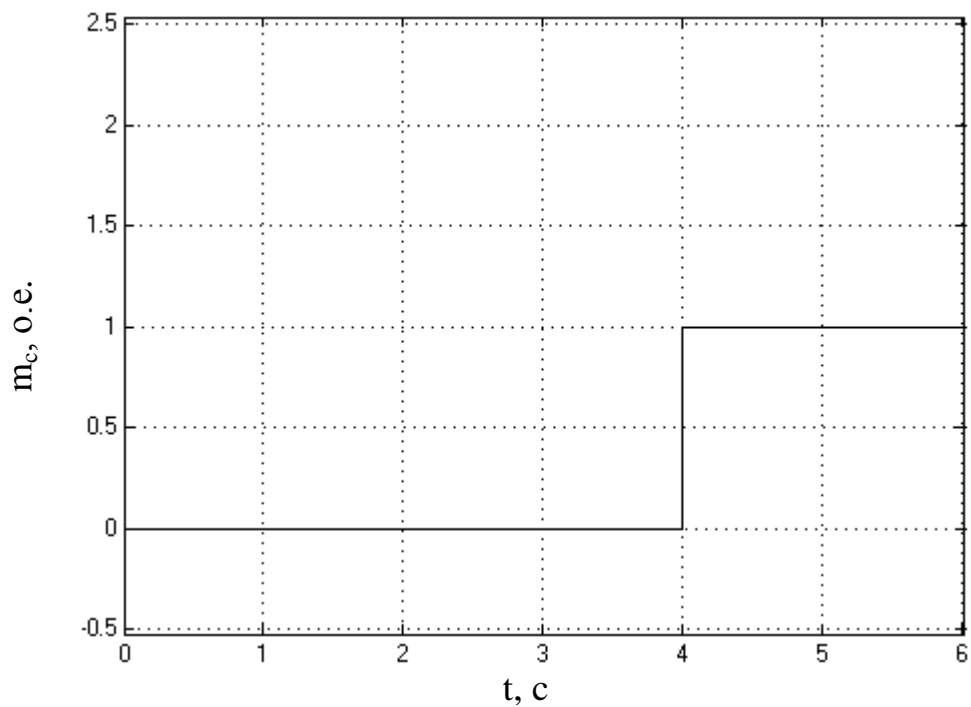


Рисунок 4.10 - Возмущающее воздействие

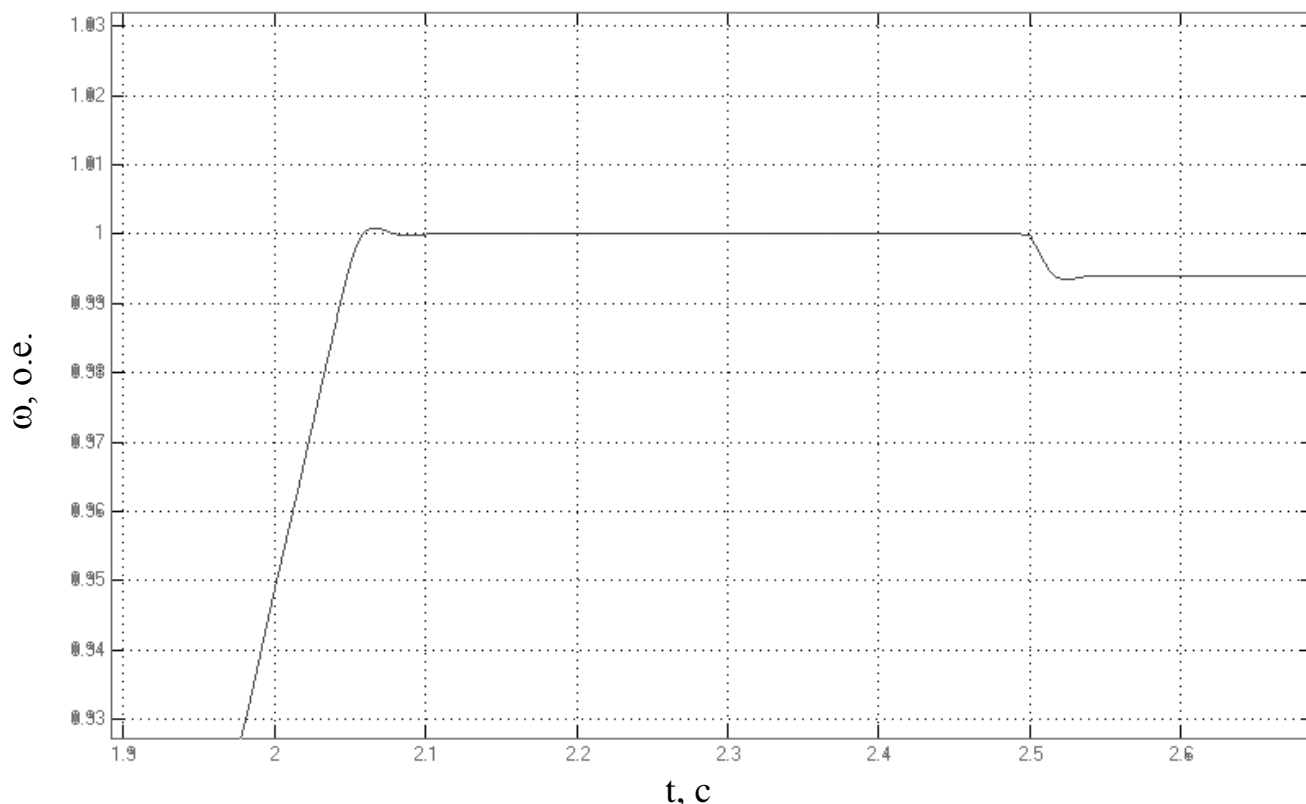


Рисунок 4.11 - Реакция контура скорости на управляющее и возмущающее воздействия

4.7 Расчет системы регулирования возбуждения

Регулирование скорости от нуля до номинальной производится при номинальном потоке возбуждения только за счет изменения напряжения якоря, а в диапазоне изменения скорости выше номинальной регулирование осуществляется изменением тока возбуждения при номинальном напряжении или ЭДС двигателя.

В системах с зависимым управлением потоком возбуждения двигателя регулирование автоматически разделено и связующим параметром, по которому осуществляется регулирование в первой или второй зоне, является ЭДС.

Как видно из структурной схемы (рисунок 4.12) система двухзонного регулирования состоит из двух связанных между собой систем: системы регулирования скорости и системы регулирования ЭДС, управляющей возбуждением двигателя. Управление скоростью вращения двигателя во всем диапазоне производится изменением одного сигнала – задания по скорости U_{3C} на входе первой системы, что является преимуществом системы с зависимым управлением потоком возбуждения.

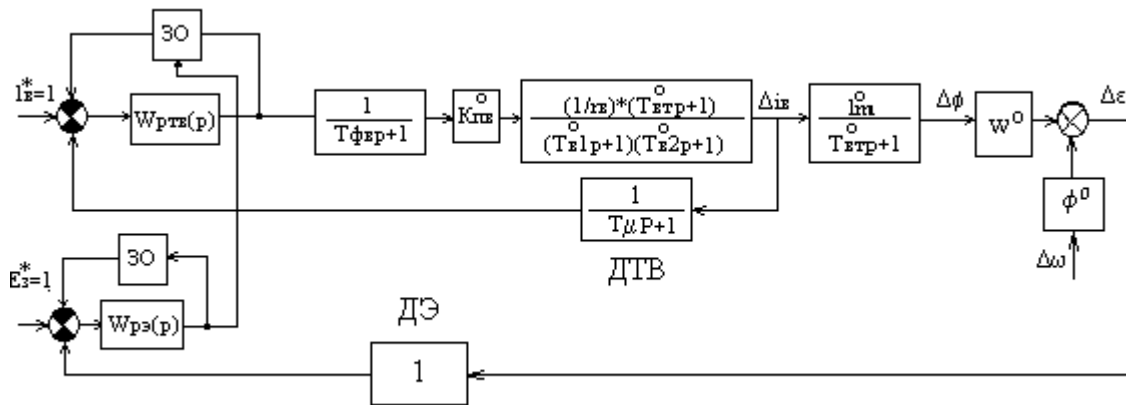


Рисунок 4.12 - Структурная схема контура возбуждения

Данная система по принципу действия сходна с системой с переключающимися обратными связями. Различие состоит в том, что здесь два регулятора, хотя система одноконтурная. Ослабление поля осуществляется зажатием уставки звена ограничения регулятора тока возбуждения. На преобразователь заводится меньший из сигналов: с выхода РТВ или с выхода РЭ.

В первой зоне регулятор ЭДС находится на ограничении: $e_d = 0,6 \cdot e_{do}$. Выход регулятора ЭДС регулирует верхний предел звена ограничения регулятора тока возбуждения. В первой зоне сигнал с РТВ пытается расти под действием положительного рассогласования на входе, но регулятор ЭДС держит верхнюю уставку звена ограничения и выходной сигнал РТВ=0,6. Затем, когда ток возбуждения достигнет уровня 1, рассогласование на входе РТВ меняет знак и выходной сигнал РТВ начинает уменьшаться, пока рассогласование на входе не станет равным 0. В первой зоне на преобразователь идет сигнал с РТВ. Рисунок 4.13 иллюстрирует работу регуляторов в первой зоне.

Во второй зоне, когда скорость становится больше номинальной РЭ сходит с ограничения и его выходной сигнал начинает уменьшаться. Уставка звена ограничения РТВ начинает уменьшаться. Ток возбуждения уменьшается. На преобразователь идет сигнал с РЭ. Работу регуляторов во второй зоне иллюстрирует рисунок 4.14.

Передаточная функция объекта регулирования:

$$W_{\varphi}(p) = \frac{K_{пВ}^0 \cdot r_B^{-1} \cdot I_m^0}{T_{в1}^0 p + 1} \quad (4.46)$$

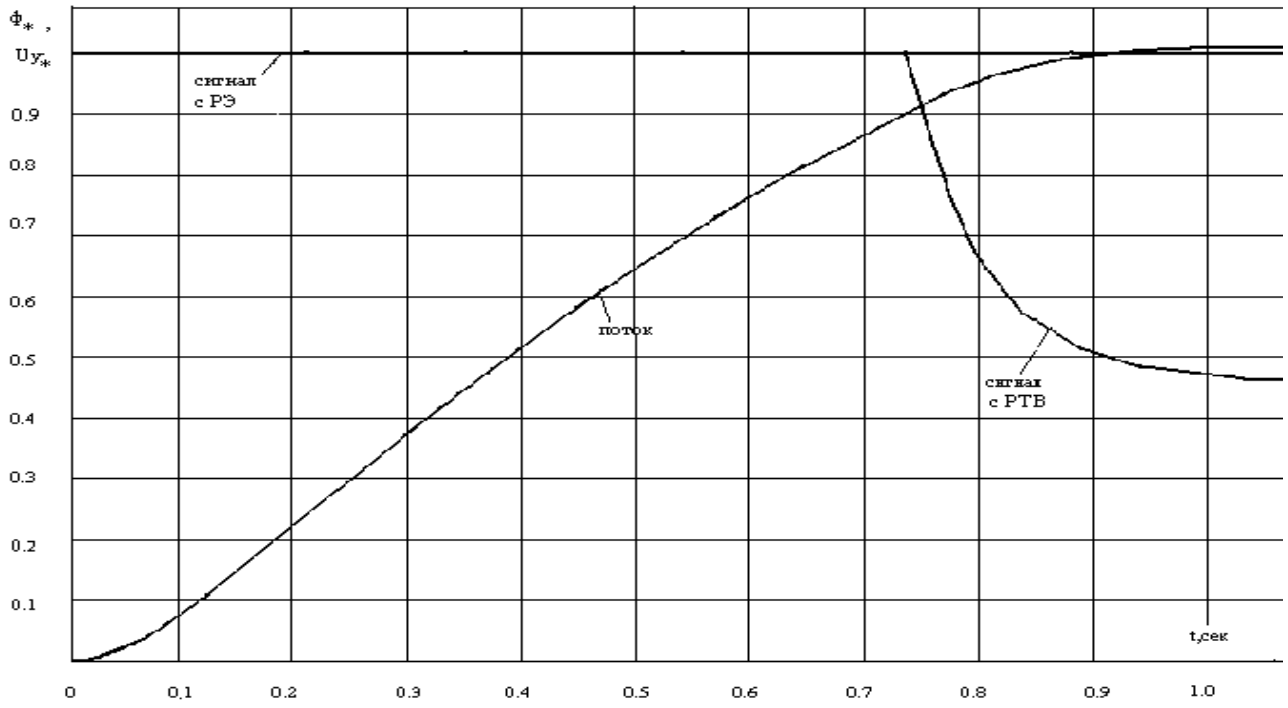


Рисунок 4.13 - Работа регуляторов цепи возбуждения (первая зона)

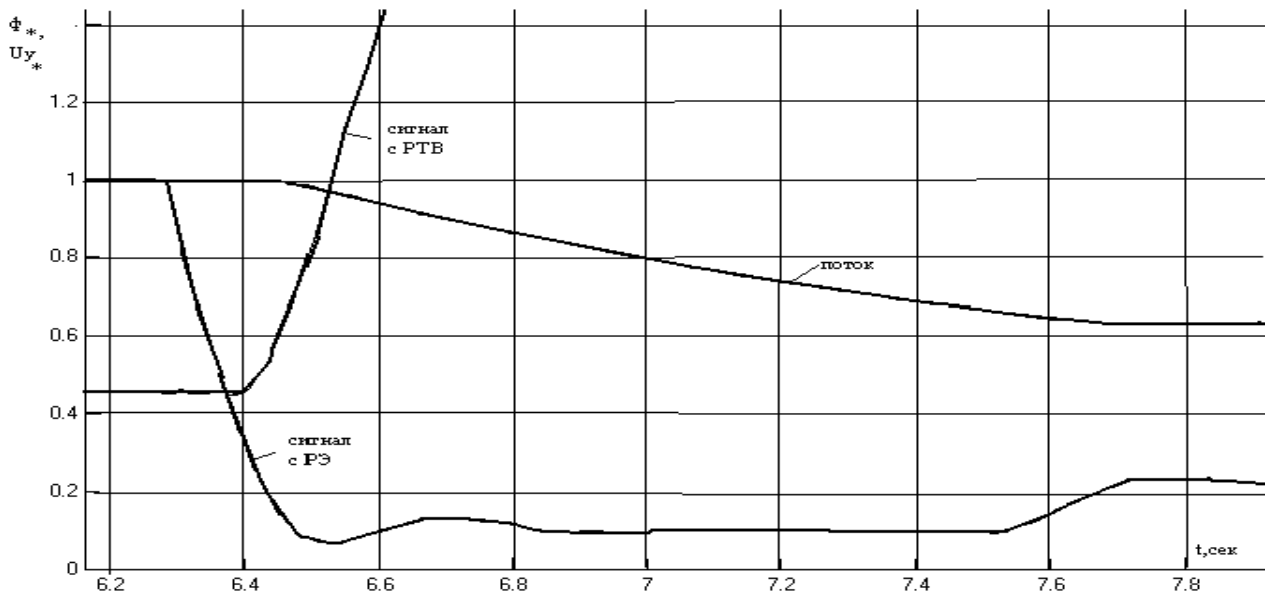


Рисунок 4.14 - Работа регуляторов во второй зоне

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ

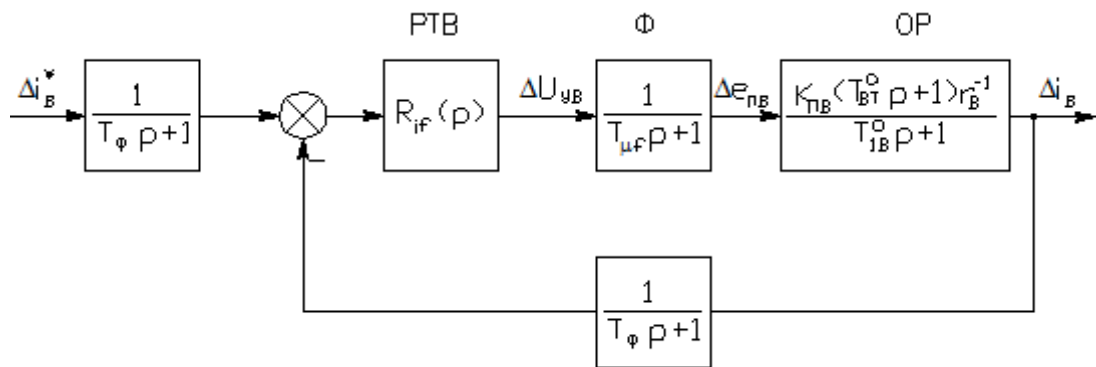


Рисунок 4.15 - Структурная схема контура тока возбуждения

Передаточная функция регулятора тока возбуждения:

$$R_{тв}(p) = [W_{\varphi}(p)]^{-1} \cdot \frac{1}{T_{\varphi} p}, \quad (4.47)$$

где:

$$T_{\varphi} = 2 \cdot (T_{\text{фв}} + T_{\text{в2}}^0) = 2 \cdot (0,05 + 0,0139) = 0,1278 \text{ с};$$

$$R_{тв}(p) = \frac{T_{\text{в1}}^0 p + 1}{K_{\text{пв}}^0 \cdot r_{\text{в}}^{-1} \cdot I_{\text{м}}^0} \cdot \frac{1}{T_{\varphi} p} = \frac{0,8316p + 1}{2,09 \cdot 1^{-1} \cdot 0,542} \cdot \frac{1}{0,1278p} = \frac{0,8316p + 1}{0,15p}.$$

Промоделируем контур тока возбуждения в пакете Matlab 6.0. Результаты представлены на рисунках 4.16, 4.17.

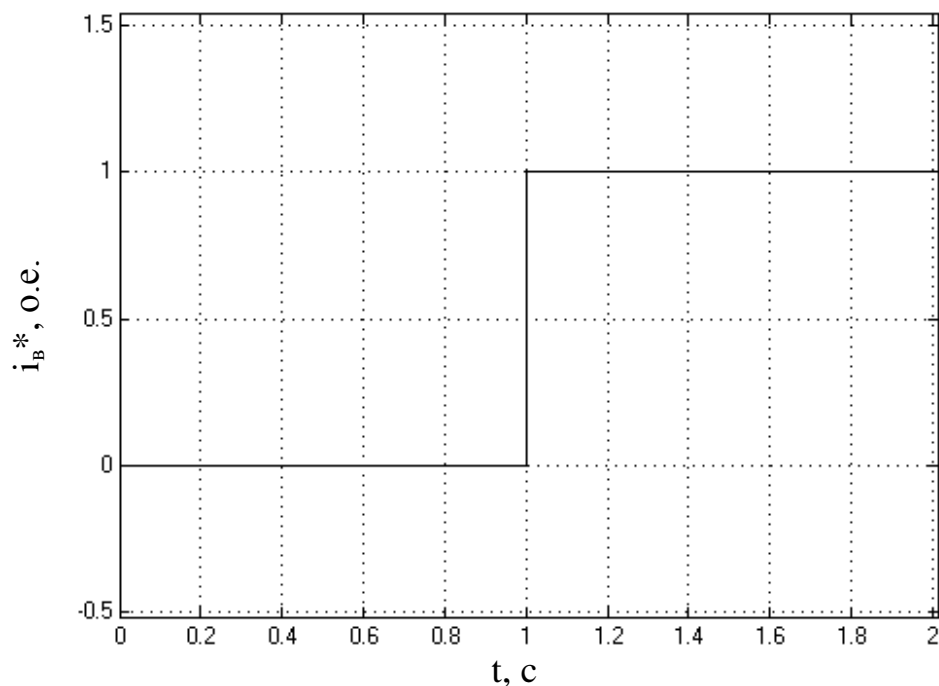


Рисунок 4.16 - Управляющее воздействие

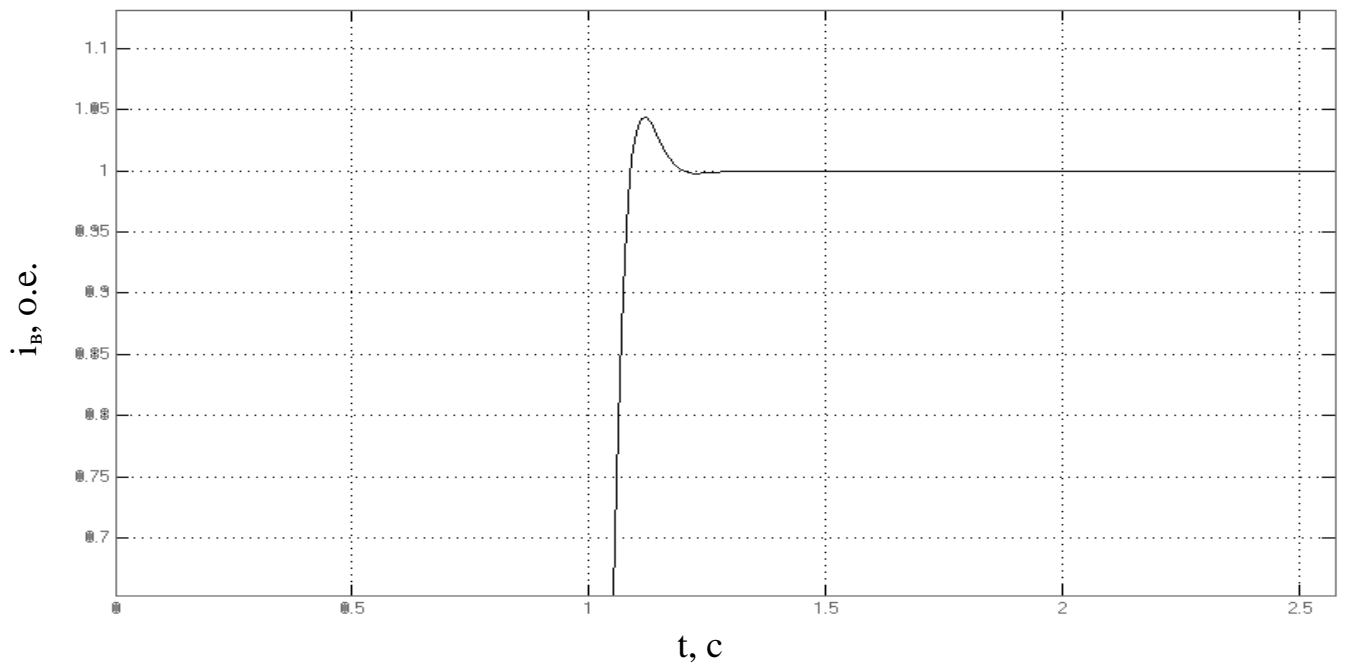


Рисунок 4.17 - Реакция контура тока возбуждения на управляющее воздействие

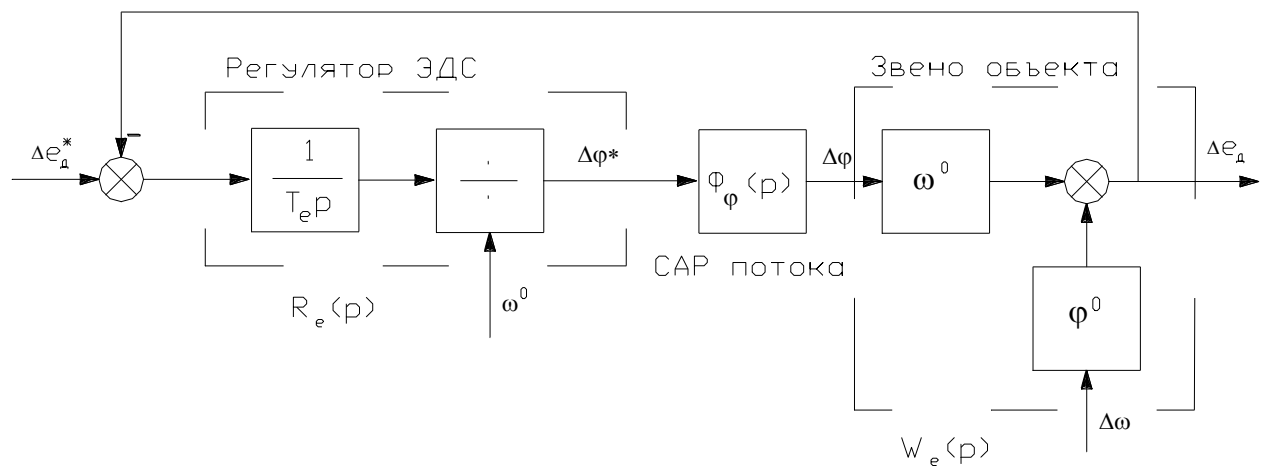


Рисунок 4.18 - Линеаризованная расчетная схема системы регулирования ЭДС якоря двигателя

Передаточная функция объекта регулирования (контур ЭДС):

$$W_e(p) = \frac{K_{пв}^0 \cdot r_B^{-1} \cdot I_m^0 \cdot w^0}{T_{в1}^0 p + 1} \quad (4.48)$$

Передаточная функция регулятора ЭДС:

$$R_e(p) = [W_e(p)]^{-1} \cdot \frac{1}{T_\varphi p}, \quad (4.49)$$

$$R_e(p) = \frac{T_{B1}^0 p + 1}{K_{nB}^0 \cdot r_B^{-1} \cdot I_m^0 \cdot W^0} \cdot \frac{1}{T_\varphi p} = \frac{1,3p + 1}{2,09 \cdot 1^{-1} \cdot 0,542 \cdot 1} \cdot \frac{1}{0,1278p} = \frac{1,3p + 1}{0,15p}.$$

4.8 Моделирование системы управления электроприводом

Моделирование как метод анализа проводится с целью оценки соответствия показателей качества проектируемой СУЭП техническому заданию. При этом математическая модель СУЭП может быть уточнена путем снятия ряда допущений, принятых на этапе синтеза передаточных функций регуляторов [5].

Существует несколько методов моделирования (например, такие, как: аналитический способ, аналоговое и цифровое моделирование). В данном проекте был применен последний, так как он позволяет наиболее точно проанализировать переходные процессы, а также позволяет проследить влияние разных параметров на вид переходных процессов.

Для получения переходных процессов исследуемого электропривода используется раздел Simulink программного пакета Matlab. Математическая модель электропривода буровой лебедки, составленная в данном пакете, приведена на рисунке 4.19.

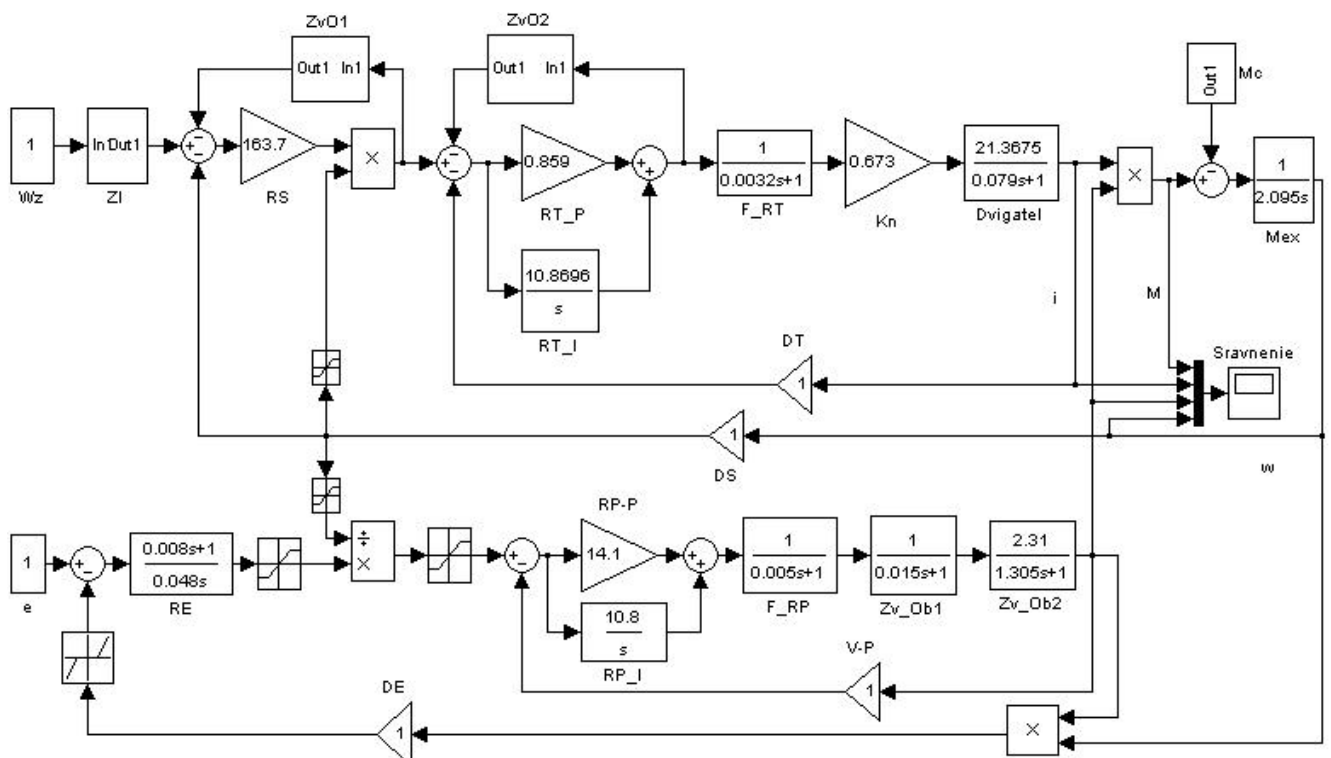


Рисунок 4.19 - Математическая модель электропривода буровой лебедки

4.8.1 Описание модели

4.8.1.1 Задатчик интенсивности

В задатчике интенсивности вычисляется максимально допустимая скорость подъема из условия ограничения допустимой мощности двигателя.

Также вычисляется ускорение разгона, причем оно зависит от веса колонны (статического момента на валу) и момента инерции (в зависимости от того, какая передача включена). Ускорение вычисляется из условия максимальной загрузки двигателя по току. В зависимости от того, есть ли ослабление поля, ускорение изменяется. Информация о включенной в данный момент времени передаче (моменте инерции) и величина статического момента на валу передаются из коробки скоростей.

4.8.1.2 Звено ограничения

Звено ограничения тока якоря предназначено для ограничения задания на ток и на скорость якоря из условия максимально допустимого рабочего тока и скорости в первой и во второй зонах.

4.8.2 Переходные процессы

Для цепи якоря построены переходные процессы разгона до максимальной скорости при подъеме 116 свеч и торможения, для цепи возбуждения построены переходные процессы, иллюстрирующие создание первоначального потока, ослабления поля при подъеме 116 свеч (рисунок 4.20).

4.9 Реализация САР

4.9.1 Элементная база

Реализация заключается в установке параметров цифрового привода Simoreg 6RA7088. Оборудование фирмы Siemens принято исходя из гибкости САР и возможности введения свободно программируемых элементов, необходимых для обеспечения технологических требований. Преобразователи серии 6RA70 SIMOREG DC MASTER являются полностью цифровыми компактными модулями с трёхфазным питанием предназначенные для питания якоря и обмотки возбуждения двигателей постоянного тока.

Управляющим устройством (СИФУ) преобразователя SIMOREG является встроенный блок управления 6RA70, представляющий собой компактный модуль на основе отдельных элементов, благодаря чему обеспечивается максимально удобное обслуживание этого устройства.

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

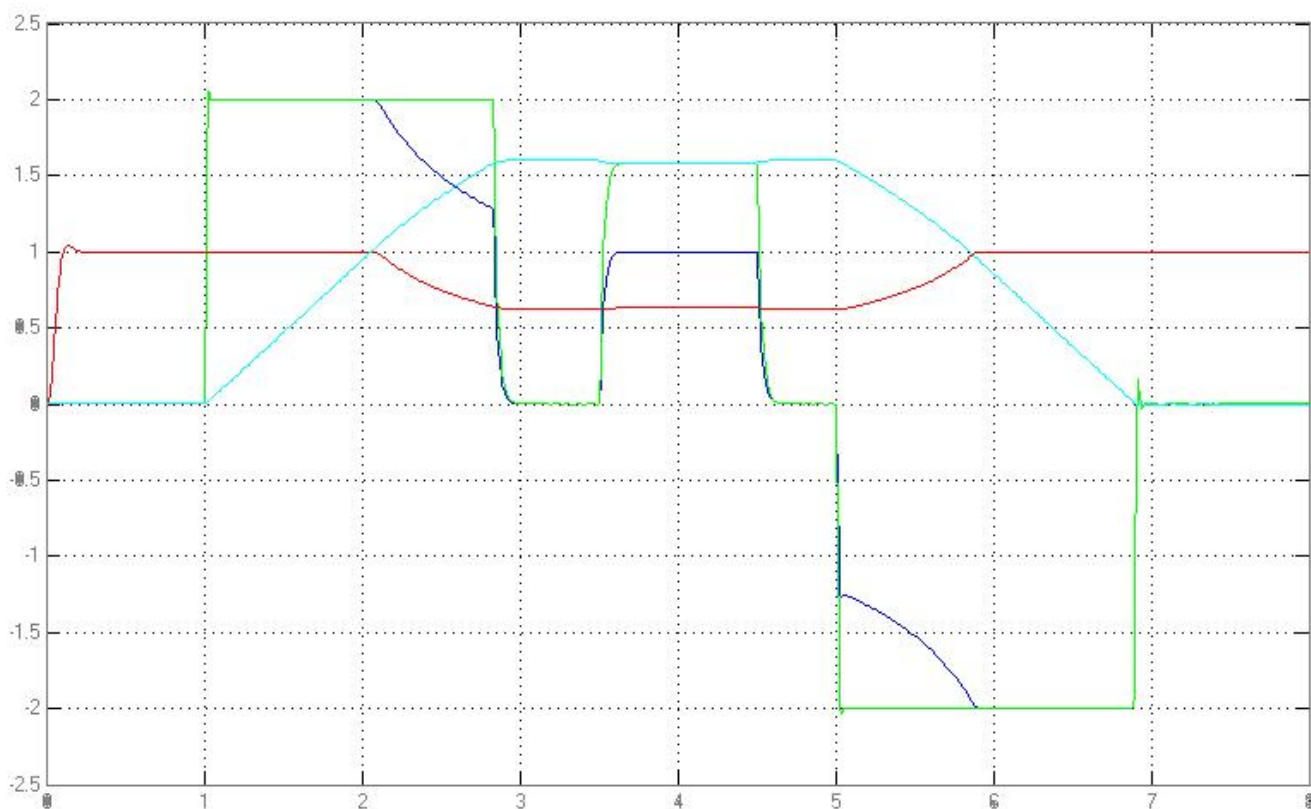


Рисунок 4.20 – Переходные процессы:
красная кривая – поток, голубая кривая – скорость,
зеленая кривая – момент, синяя кривая – ток

4.9.2 Программирование

Программирование управляющего устройства 6RA70 может быть осуществлено двумя способами. Первый способ – это непосредственное параметрирование управляющего устройства. Все блоки SIMOREG DC MASTER снабжены простой панелью управления (PMU), закреплённой на дверце шкафа. Панель состоит из пятиразрядного, семисегментного индикатора, трёх светодиодов индикации состояния и трёх клавиш параметрирования. В процессе параметрирования определяются структура системы управления, её конкретный состав путём активации типовых регуляторов и задания их параметров. С помощью этой же панели оператором задаются все необходимые для запуска настройки, а также ведётся контроль параметров в процессе работы.

Параметрирование преобразователя можно также осуществлять через стандартный РС при использовании соответствующего программного обеспечения. В этом случае РС подключается к базовому блоку с помощью параллельного интерфейса. Этот интерфейс используется во время запуска, для сохранения параметров при выключении, а также для диагностики в процессе работы. Кроме перечисленных возможностей параллельный интерфейс позволяет загрузить обновлённое программное обеспечение для хранения во Flash памяти.

Вторым способом программирования управляющего устройства является объектное программирование. Для программирования таким способом фирмой SIEMENS разработан универсальный пакет STEP 7 с библиотеками языка SFC, при помощи которого возможно программирование на языке высокого уровня. Преимущество такого способа программирования – в его наглядности. При таком способе программирования написание программы ведётся путём составления на рабочем поле необходимой структурной схемы системы управления. Для этого из библиотеки типовых элементов для установки на рабочем поле выбираются требуемые, задаются их параметры и между выбранными элементами организуются необходимые связи.

Оба способа программирования имеют одинаковые возможности и являются только разными формами записи программы. Таблица 4.4 содержит список параметров, которые необходимо задать для реализации требуемой системы управления и наглядно демонстрирует процесс параметрирования.

На рисунках 4.22 и 4.23 в качестве иллюстрации второго способа программирования представлены: структура системы автоматического регулирования, заложенная в управляющем устройстве 6RA70, а также схемы некоторых типовых элементов, при помощи которых ведётся составление требуемых структурных схем SAP на рабочем поле программы. На этих рисунках также видна система выходных и входных переменных регулятора. Каждому воздействию в контроллере соответствует свой параметр, что и обеспечивает возможность конфигурирования системы.

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

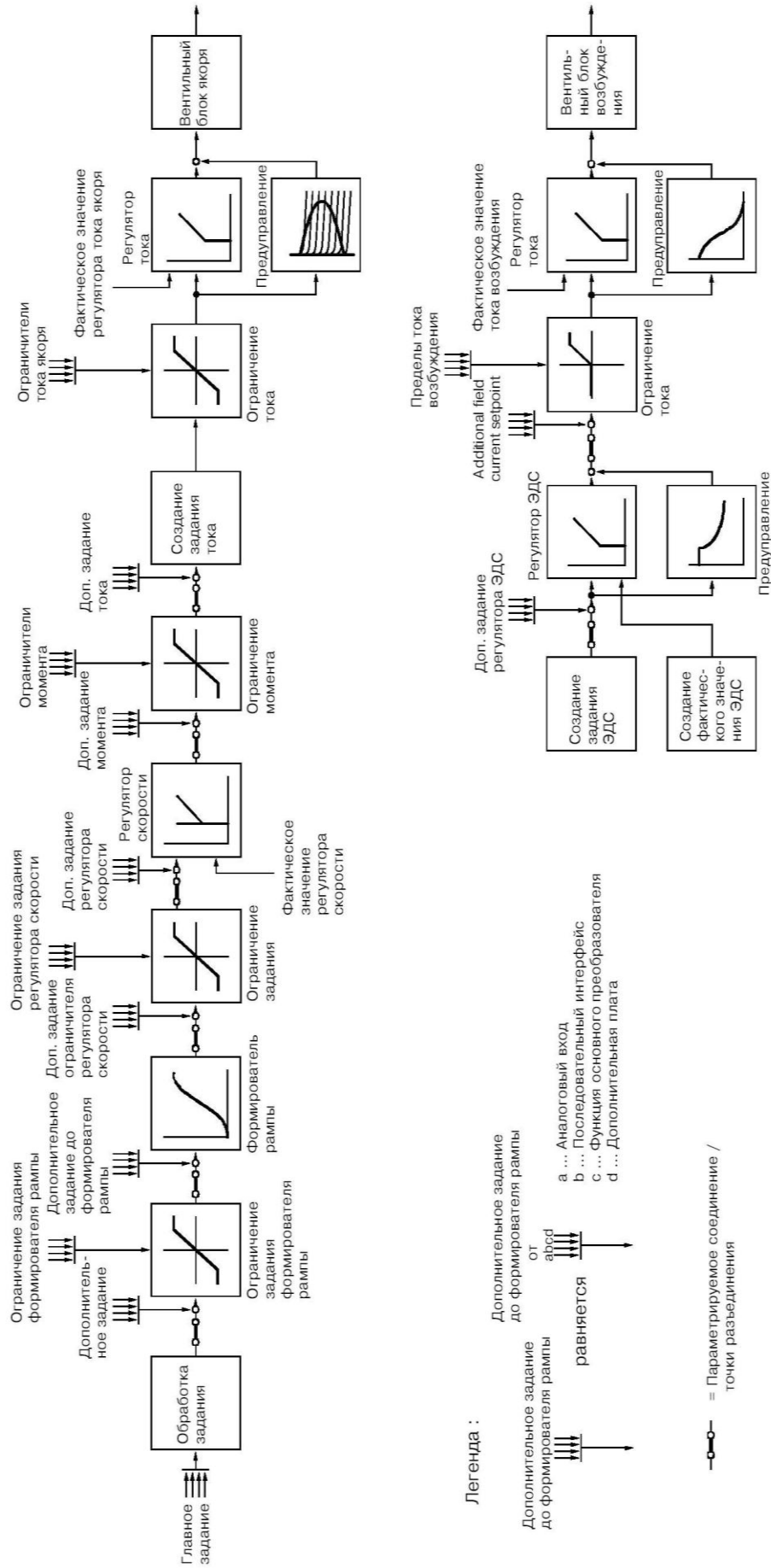


Рисунок 4.21 - Структура системы регулирования, заложенная в контроллере

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ

Лист

63

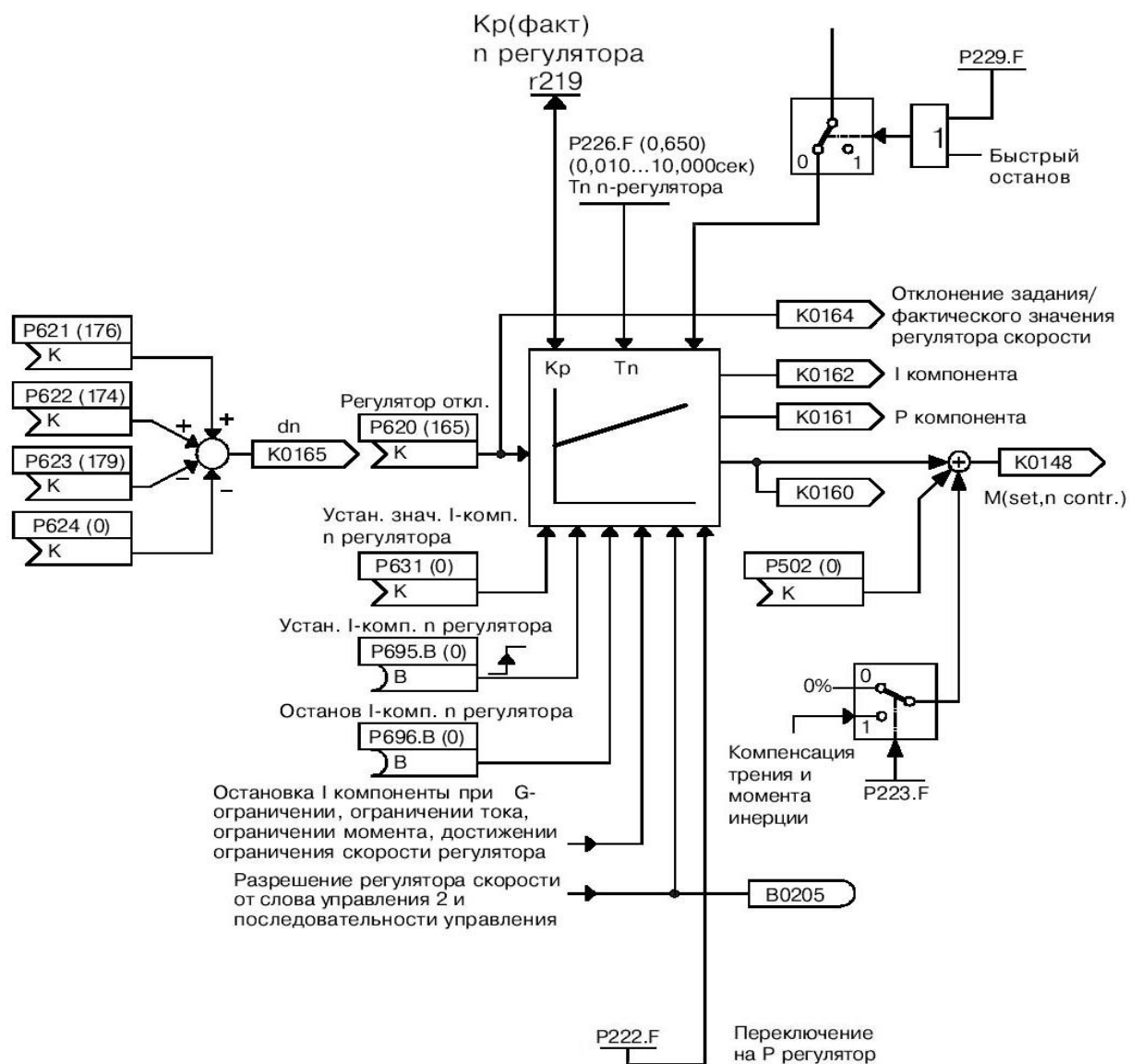


Рисунок 4.22 - Структура регулятора скорости

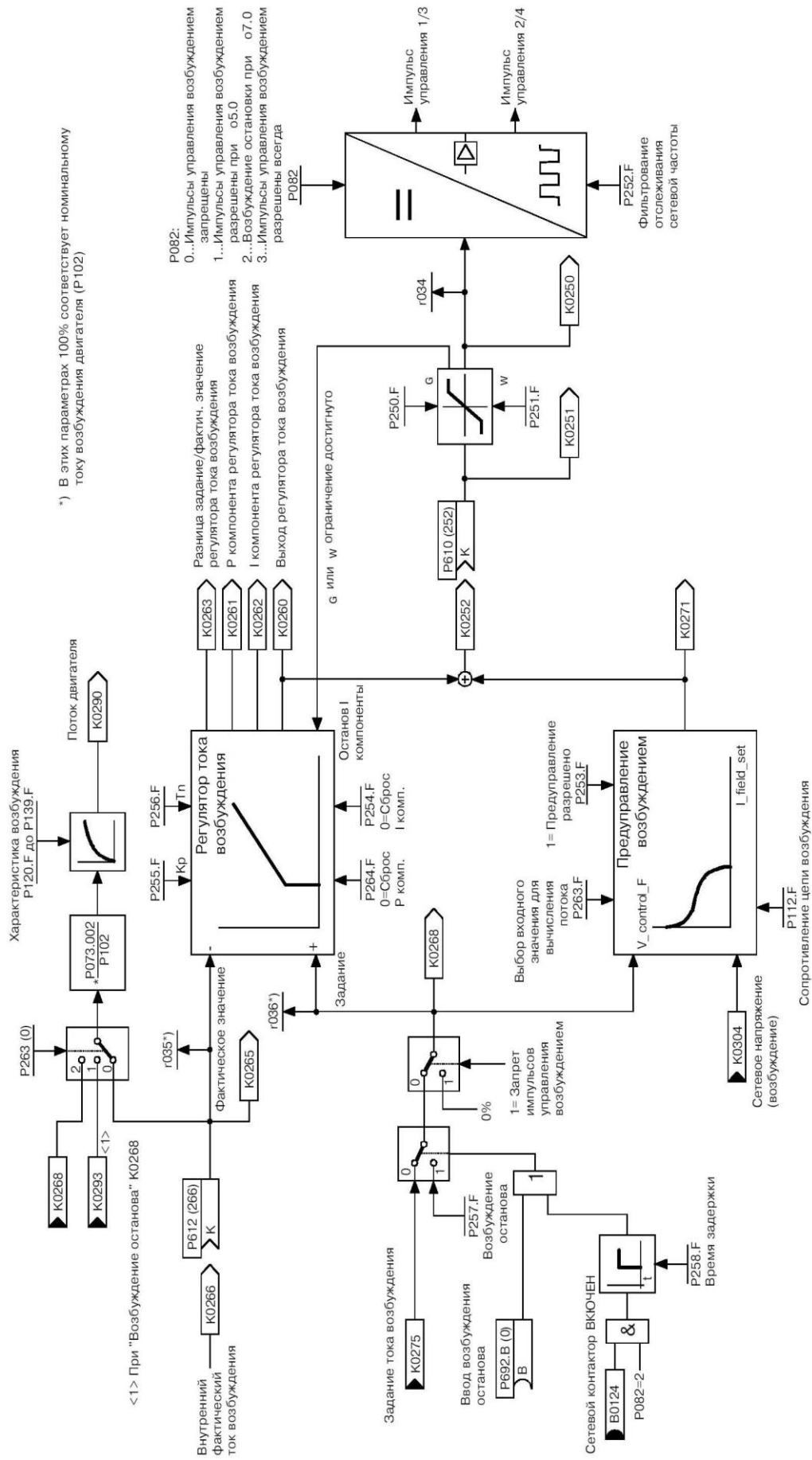
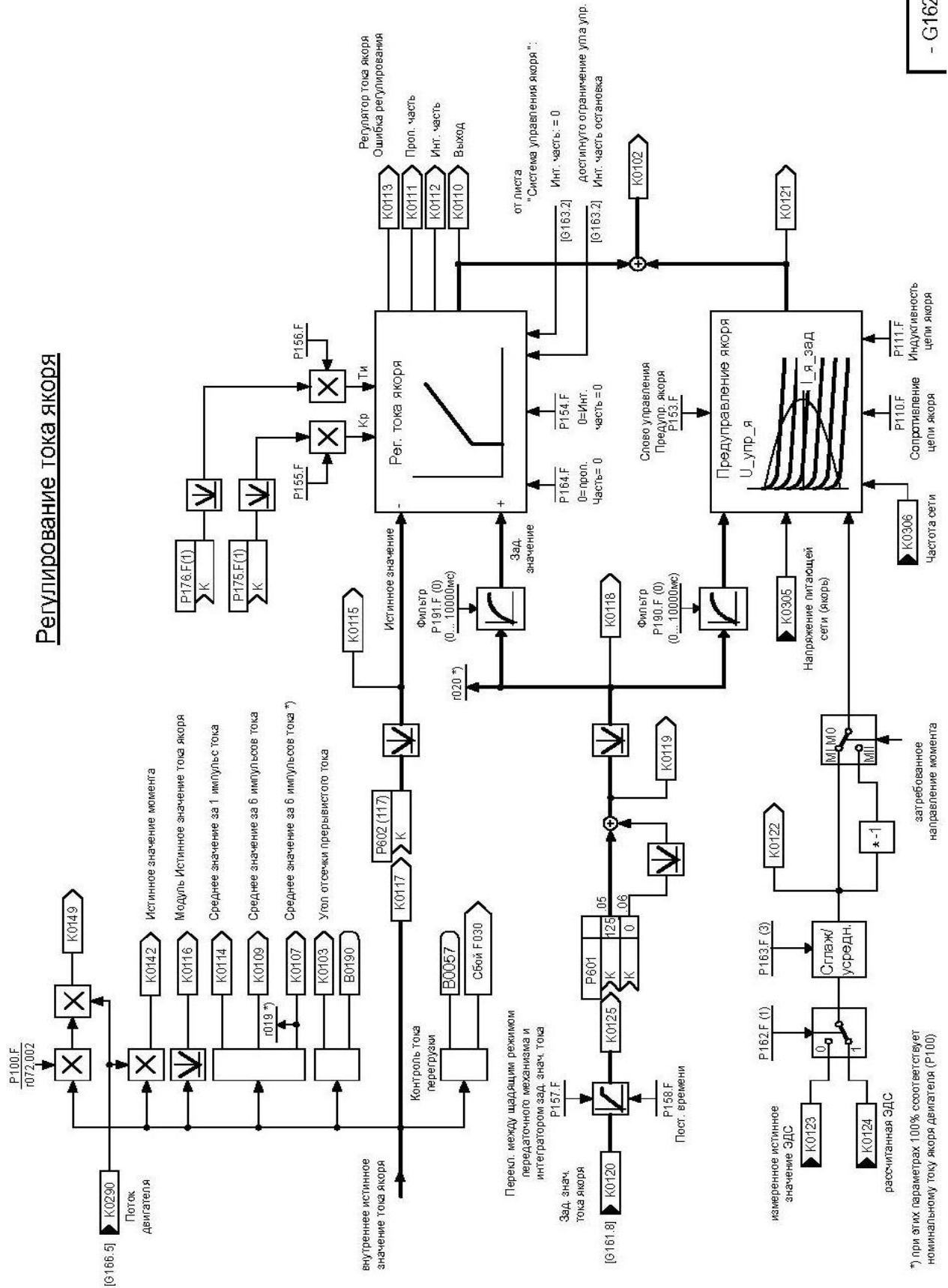


Рисунок 4.23 - Структура регулятора тока возбуждения

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТОКА ЯКОРЯ



*) при этих параметрах 100% соответствует номинальному току якоря двигателя (P100)

Рисунок 4.24 - Структура регулятора тока якоря

- G162

Таблица 4.4 - Список параметров, которые необходимо задать для реализации требуемой системы управления

Номер параметра	Значение параметра	Описание параметра
1	2	3
Описание двигателя		
p100	850	Номинальный ток двигателя, А
p101	800	Номинальное напряжение двигателя, В
p102	50	Ток возбуждения номинальный, А
p103	15	Ток возбуждения минимальный, А
p109	0	Скорость не зависит от ограничения тока
p110	0,042	Сопротивление якоря двигателя, Ом
p111	3,38	Индуктивность цепи якоря, мГн
p112	13,4	Сопротивление обмотки возбуждения, Ом
p114	0	Функция слежения за температурой отключена
p117	1	Задана характеристика возбуждения. (Используется значение параметров p121-p139)
p118	435,3	Номинальное значение ЭДС двигателя, В
p119	1000	Номинальное число оборотов, об/мин
Характеристика намагничивания		
p121	3.7	Ток возбуждения для 5% потока двигателя (точка № 1)
p122	7.3	Ток возбуждения для 10% потока двигателя (точка № 2)
p123	11	Ток возбуждения для 15% потока двигателя (точка № 3)
p124	14.7	Ток возбуждения для 20% потока двигателя (точка № 4)
p125	18.4	Ток возбуждения для 25% потока двигателя (точка № 5)
p126	22	Ток возбуждения для 30% потока двигателя (точка № 6)
p127	25.7	Ток возбуждения для 35% потока двигателя (точка № 7)
p128	29.4	Ток возбуждения для 40% потока двигателя (точка № 8)
p129	33.1	Ток возбуждения для 45% потока двигателя (точка № 9)
p130	36.8	Ток возбуждения для 50% потока двигателя (точка № 10)
p131	40.6	Ток возбуждения для 55% потока двигателя (точка № 11)
p132	44.6	Ток возбуждения для 60% потока двигателя (точка № 12)
p133	48.9	Ток возбуждения для 65% потока двигателя (точка № 13)
p134	53.6	Ток возбуждения для 70% потока двигателя (точка № 14)
p135	58.9	Ток возбуждения для 75% потока двигателя (точка № 15)
p136	64.9	Ток возбуждения для 80% потока двигателя (точка № 16)
p137	71.8	Ток возбуждения для 85% потока двигателя (точка № 17)
p138	79.8	Ток возбуждения для 90% потока двигателя (точка № 18)
p139	89.1	Ток возбуждения для 95% потока двигателя (точка № 19)
Датчик скорости		
p140	1	Используется импульсный датчик скорости
Регуляторы РТ, РС, РТВ, РЭ, ЗИ		

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3
p153	1	Предуправление якорем активно.
p154	1	Подключение интегральной составляющей РТ
p155	0,07	Коэффициент передачи пропорциональной части РТ
p156	0.114	Постоянная времени интегратора РТ, с
p162	1	ЭДС вычисляется, а не измеряется
p163	1	Фильтр ЭДС подключен
p164	1	Подключение пропорциональной составляющей РТ
p169	0	Регулирование тока с ограничением тока
p170	0	
p171	150	Ограничение тока, в % от p100 (номинального тока)
p180	150	Ограничение момента в % от расчётного момента
p222	0.0	Отключение автоматического переключения РС с П- ни ПИ-регулятор
p223	0	Предуправление РС отключено
p224	1	Подключение интегральной составляющей
p225	91,42	Коэффициент передачи пропорциональной части РС
p226	0.00035	Постоянная времени интегратора РС, с
p253	1	Управление возбуждением активно
p254	1	Подключение интегральной составляющей
p255	25	Коэффициент передачи пропорциональной части РМП
p256	0.053	Постоянная времени интегратора РТВ, с
p263	0	Входная величина для вычисления средней величины потока является фактическое значение тока возбуждения
p264	1	Подключение пропорциональной составляющей
p272	1	При очень высокой ЭДС происходит автоматическое ограничение
p273	1	Управление РЭ активно
p274	1	Подключение интегральной составляющей
p275	0.167	Коэффициент передачи пропорциональной части РЭ
p256	0.048	Постоянная времени интегратора РЭ, с
p284	1	Подключение пропорциональной составляющей
p300	138.0	Положительное ограничение на выходе, %
p301	138.0	Отрицательное ограничение на выходе, %
p302	0	Нормальная работа ЗИ
p303	2.76	Время нарастания сигнала, с
p304	2,76	Время спада сигнала, с
Ограничения		
p338	10	Допустимое отклонение от уставки скорости, %
p351	-20	Слишком низкое напряжение, %
p363	45	Порог для частоты сети минимальный, Гц

Окончание таблицы 4.4

1	2	3
p364	55	Порог для частоты сети максимальный, Гц
p380	240	Положительная максимальная скорость, %
p381	240	Отрицательная максимальная скорость, %

Выводы по разделу четыре

В данном разделе была разработана система автоматического управления электроприводом. Произведено описание системы, был выполнен расчет параметров якорной цепи, цепи возбуждения, контура тока, контура скорости, системы регулирования возбуждения. Было выполнено моделирование системы управления электроприводом, а также реализация САР.

5 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АВТОМАТИКИ

5.1 Особенности буровой лебедки как объекта управления

Эффективность процесса бурения и качество строительства скважин во многом определяются возможностью оперативного управления режимом работы и ориентирования забойного оборудования с целью поддержания оптимальных параметров режима бурения и проводки скважины по заданной траектории. У буровой лебедки существуют 2 режима работы: СПО (спуско-подъемные операции) и РПД (регулятор подачи долота). И в то время как режим СПО изучен и оптимизирован, для РПД существуют различные варианты регулирования.

Для обеспечения режима РПД, нужно поддерживать скорость подачи долота такой, чтобы одновременно учитывались несколько требований. Долото должно быть всегда в соприкосновении с грунтом с таким расчетом, чтобы происходил процесс бурения и в то же время, чтобы сам вес колонны труб не раздавил долото. Также надо следить за давлением промывочной жидкости, которая вымывает выработанную породу, иначе резко возросшее давление жидкости из-за провала долота в мягкий грунт выведет из строя насос.

5.2 Электропривод регулятора подачи долота

САР электропривода РПД должна обеспечить следующие режимы работы:

- а) подъем и спуск талевого блока с грузом с заданной скоростью;
- б) поддержание заданной нагрузки на долото при бурении.
- в) поддержание заданного давления в манифольде с ограничением нагрузки на долото.

Кроме того, должен быть обеспечен специальный режим при монтаже буровой установки для подъема и опускания вышки и для аварийного подъема бурильных труб, в случае если основным приводом по какой-либо причине работать невозможно.

При разработке системы регулирования электроприводом РПД необходимо проработать различные варианты структурных схем САР.

1) На буровых установках наиболее часто применялась двухконтурная САР привода РПД с переключаемой структурой. При этом в режиме поддержания заданной скорости внешним контуром является регулятор скорости (напряжения), внутренним контуром является контур тока.

В режиме поддержания заданной нагрузки на долото внешним контуром становился контур регулятора натяжения в мертвом конце талевого каната и внутренним контуром оставался контур регулятора тока в якорной цепи. На вход регулятора натяжения в качестве заданного значения нагрузки на долото подается сигнал равный сигналу снимаемого с датчика натяжения в мертвом конце талевого каната при так называемой процедуре взвешивания за вычетом сигнала пропорционального заданной нагрузке на долото. В качестве обратной связи на

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

вход регулятора натяжения подается сигнал пропорциональный фактическому натяжению в мертвом конце талевого каната.

2) На буровых установках применяется также привод РПД с переключаемой структурой САР - двухконтурной в режиме поддержания заданной скорости и трехконтурной в режиме поддержания заданной нагрузки на долото. При этом в режиме поддержания нагрузки на долото внешним контуром является контур регулятора натяжения, подчиненным контуру натяжения является контур скорости и внутренним контуром является контур тока.

Указанные варианты не обеспечивают поддержания более высокого уровня точности таких параметров режима бурения, как осевая нагрузка на долото и расход промывочной жидкости, а также их согласованного регулирования. Как показывают расчеты и практика бурения скважин, под действием реактивного момента происходит закручивание бурильной колонны, что затрудняет начальную установку заданного угла и тем более его поддержание в процессе бурения.

Реактивный крутящий момент зависит от осевой нагрузки на долото, создаваемой, как правило, преимущественно частью веса бурильной колонны. Сравнительно небольшие изменения осевой нагрузки приводят к существенным изменениям угла закручивания колонны и, соответственно, положения.

Традиционный способ управления режимом бурения путем регулирования осевой нагрузки на долото подачей верхнего конца бурильной колонны по показаниям наземного индикатора веса при проводке наклонных и горизонтальных скважин не обеспечивает требуемой точности из-за влияния не поддающихся детальному расчету переменных фрикционных сил, действующих на бурильную колонну.

С учетом вышеизложенного наиболее целесообразным при бурении следует считать комбинированный двухконтурный способ управления режимом проводки скважин путем регулирования скорости подачи бурильной колонны и расхода бурового раствора. В этом случае возможна организация управления осевой нагрузкой в широком диапазоне и с необходимой точностью: «грубо» — регулированием подачи верхнего конца бурильной колонны; «точно» — регулированием расхода промывочной жидкости.

Однако реализация этого способа представляется затруднительной вследствие разомкнутости указанных двух контуров управления, т.к. при этом не обеспечивается их согласованность. В этой связи является перспективным создание систем согласованного управления основными агрегатами буровой установки.

Были разработаны принципиальная схема, алгоритмы и модель автоматизированной системы управления режимом работы и ориентирования забойного оборудования при бурении скважин. АСУ обеспечивает в соответствии с разработанным алгоритмом согласованное регулирование скорости подачи колонны труб и расхода промывочной жидкости с целью поддержания заданных параметров режима бурения.

Разработанная система работает следующим образом (см. рисунок 5.1): с помощью пульта управления (ПУ) через микроконтроллер (МК) подачей колонны труб (КТ) буровой лебедкой (Б) устанавливается заданный режим бурения на-

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

грузка G на долото (Д). Установка может выполняться либо по гидравлическому индикатору веса (ГИВ), либо по датчику давления (ДД) на выходе промывочного насоса (ПН). Одновременно устанавливается заданный расход Q жидкости. После этого система переводится в автоматический режим.

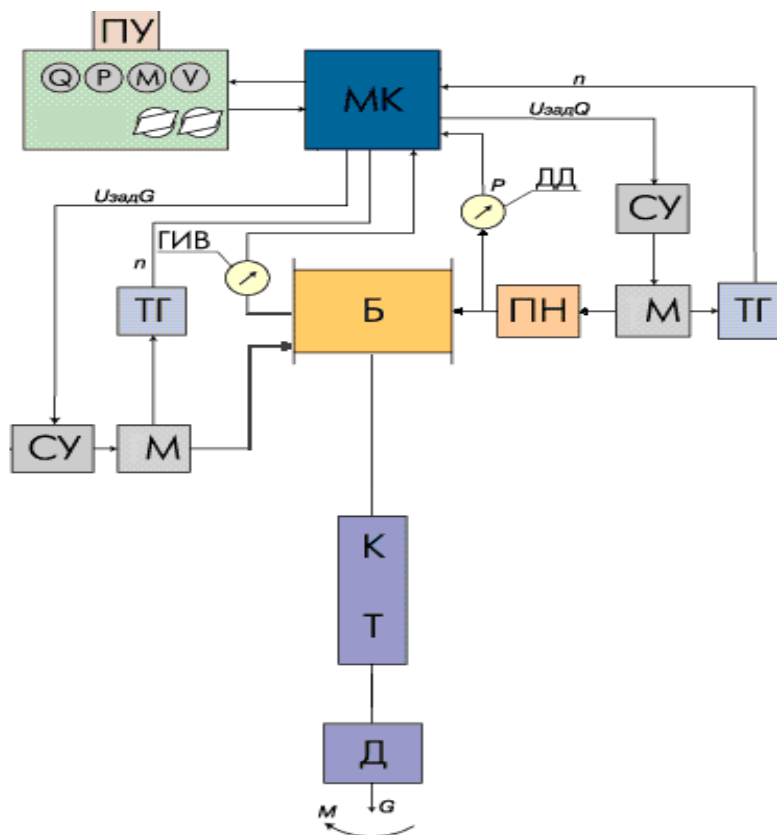


Рисунок 5.1 - Принципиальная схема АСУ

5.3 Автоматизация регулятора подачи долота

5.3.1 Постановка задачи управления

При переходе РПД в режим автоматического управления система следит за показаниями двух датчиков: ГИВ – гидравлический индикатор веса колонны и ДД – датчик давления промывочного насоса. По данным этих датчиков система управления должна сделать выбор скорости подачи долота.

Для управления использование традиционных «жестких» и адаптивных регуляторов оказывается неприемлемо, т.к.:

- а) модель объекта управления представлена лишь в виде качественного описания;
- б) при значительной сложности протекающих технологических процессов, математическое описание затруднено;
- в) построенная модель системы управления слишком идеализирована и в ряде случаев неадекватно отражает свойства реальной системы;

Перечисленные проблемы могут быть решены путем применения регуляторов с элементами искусственного интеллекта (ИИ). К отличительным чертам этих регуляторов можно отнести способность оперировать эмпирическими знаниями и качественной информацией, умение пополнять знания в процессе обучения и выводить новые знания на базе имеющихся, возможность формировать алгоритм управления в процессе функционирования системы.

Решение представлено в виде программы, разработанной в визуальной среде моделирования MATLAB, основанной на принципе нечеткой логики [6].

5.3.2 Основные положения нечеткой логики

В 1965 году в журнале “Information and Control” появилась работа профессора Калифорнийского университета (Беркли) Лотфи А. Заде “Fuzzy Sets”, которая заложила основы моделирования интеллектуальной деятельности человека и явилась начальным толчком к развитию новой математической теории. Заде расширил классическое канторовское понятие множества, допустив, что характеристическая функция (функция принадлежности элемента множеству) может принимать любые значения в интервале (0;1), а не только значения 0 либо 1. Такие множества были названы им нечеткими (fuzzy).

Пакет нечеткой логики – это пакет прикладных программ, относящихся к теории размытых или нечетких множеств и позволяющих конструировать нечеткие экспертные и/или управляющие системы. Нечеткая логика является многозначной логикой, что позволяет определить промежуточные значения для таких общепринятых оценок, как да|нет, истинно|ложно, черное|белое и т.п. Выражения подобные таким, как слегка тепло или довольно холодно возможно формулировать математически и обрабатывать на компьютерах.

Математическая теория нечетких множеств, предложенная Л.Заде, позволяет описывать нечеткие понятия и знания, оперировать этими знаниями и делать нечеткие выводы. Основанные на этой теории методы построения компьютерных нечетких систем существенно расширяют области применения компьютеров. В последнее время нечеткое управление является одной из самых активных и результативных областей исследований применения теории нечетких множеств. Нечеткое управление оказывается особенно полезным, когда технологические процессы являются слишком сложными для анализа с помощью общепринятых количественных методов, или когда доступные источники информации интерпретируются качественно, неточно или неопределенно. Экспериментально показано, что нечеткое управление дает лучшие результаты, по сравнению с получаемыми при общепринятых алгоритмах управления. Нечеткие методы помогают управлять домной и прокатным станом, автомобилем и поездом, распознавать речь и изображения, проектировать роботов, обладающих осязанием и зрением. Нечеткая логика, на которой основано нечеткое управление, ближе по духу к человеческому мышлению и естественным языкам, чем традиционные логические системы. Нечеткая логика, в основном, обеспечивает эффективные средства отображения неопределенностей и неточностей реального мира.

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

При построении функций принадлежности нечетких множеств используют два основных метода:

Прямые методы, когда эксперт либо просто задает для каждого $x \in E$ значение $\mu_A(x)$, либо определяет функцию совместимости. Как правило, прямые методы задания функции принадлежности используются для измеримых понятий, таких как скорость, время, расстояние, давление, температура и т.д., или когда выделяются полярные значения.

Во многих задачах при характеристике объекта можно выделить набор признаков и для каждого из них определить полярные значения, соответствующие значениям функции принадлежности, 0 или 1.

Косвенные методы определения значений функции принадлежности используются в случаях, когда нет элементарных измеримых свойств, через которые определяется интересующее нечеткое множество. Как правило, это методы по парным сравнениям. Если бы значения функций принадлежности были известны, например, $\mu_A(x_i) = w_i$, $i=1,2,\dots,n$, то по парные сравнения можно представить матрицей отношений $A = \{a_{ij}\}$, где $a_{ij}=w_i/w_j$ (операция деления).

На практике эксперт сам формирует матрицу A , при этом предполагается, что диагональные элементы равны 1, а для элементов симметричных относительно диагонали $a_{ij} = 1/a_{ji}$, т.е. если один элемент оценивается в α раз сильнее чем другой, то этот последний должен быть в $1/\alpha$ раз сильнее, чем первый. В общем случае задача сводится к поиску вектора w , удовлетворяющего уравнению вида $A_w = \lambda_{\max} w$, где λ_{\max} - наибольшее собственное значение матрицы A . Поскольку матрица A положительна по построению, решение данной задачи существует и является положительным.

Для задания функций принадлежности используются также типовые формы приведенных ниже функций:

- треугольная (trimf);
- трапецеидальная (trapmf);
- гауссова (gaussmf);
- двойная гауссова (gauss2mf);
- обобщенная колоколообразная (gbellmf);
- сигмоидальная (sigmf);
- двойная сигмоидальная (dsigmf);
- произведение двух сигмоидальных функций (psigmf);
- Z-функция;
- S-функция;
- Pi-функция;

Конкретный вид данных функций определяется значениями параметров, входящих в их аналитические представления.

Как операцию композиции, так и операцию импликации в алгебре нечетких множеств можно реализовывать по-разному (при этом, естественно, будет раз-

ниться и итоговый получаемый результат), но в любом случае общий логический вывод осуществляется за следующие четыре этапа.

1 Нечеткость (введение нечеткости, фаззификация, fuzzification). Функции принадлежности, определенные на входных переменных, применяются к их фактическим значениям для определения степени истинности каждой предпосылки каждого правила.

2 Логический вывод. Вычисленное значение истинности для предпосылок каждого правила применяется к заключениям каждого правила. Это приводит к одному нечеткому подмножеству, которое будет назначено каждой переменной вывода для каждого правила. В качестве правил логического вывода обычно используются только операции \min (минимум) или prod (умножение). В логическом выводе \min функция принадлежности вывода «отсекается» по высоте, соответствующей вычисленной степени истинности предпосылки правила (нечеткая логика «И»). В логическом выводе prod функция принадлежности вывода масштабируется при помощи вычисленной степени истинности предпосылки правила.

3 Композиция. Нечеткие подмножества, назначенные для каждой переменной вывода (во всех правилах), объединяются вместе, чтобы сформировать одно нечеткое подмножество для каждой переменной вывода. При подобном объединении обычно используются операции \max (максимум) или sum (сумма). При композиции \max комбинированный вывод нечеткого подмножества конструируется как поточечный максимум по всем нечетким подмножествам (нечеткая логика «ИЛИ»). При композиции sum комбинированный вывод нечеткого подмножества конструируется как поточечная сумма по всем нечетким подмножествам, назначенным переменной вывода правилами логического вывода.

4 В заключение (дополнительно) — приведение к четкости (дефаззификация, defuzzification), которое используется, когда полезно преобразовать нечеткий набор выводов в четкое число.

В 1995 г. Кастро (Castro) показал, что логический контроллер Мамдани при определенных условиях также является универсальным аппроксиматором.

Согласно знаменитой теореме FAT (Fuzzy Approximation Theorem), доказанной Б. Коско (B. Kosko) в 1993 г., любая математическая система может быть аппроксимирована системой, основанной на нечеткой логике.

5.3.3 Построение экспертной системы

Рассмотрим методику построения нечеткой экспертной системы.

1 Командой fuzzy запускаем FIS-редактор. По умолчанию предлагается алгоритм вывода типа Мамдани (о чем говорит надпись в центральном белом блоке), и здесь никаких изменений не требуется, но в системе должно быть два входа и выхода, поэтому через пункт меню Edit > Add добавляем в систему второй вход (в окне редактора появится второй желтый блок с именем). Делая далее однократный щелчок на блоке input1, меняем его имя на «Вес» завершая ввод нового имени нажатием клавиши Enter. Аналогичным образом устанавливаем имена: «Davlenie», «Podacha». Присвоим имя системе, например Fuzzy1, выполнив это

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

через пункт File > Save to work space as (сохранить в рабочем пространстве как...). Вид окна редактора после указанных действий приведен на рисунке 5.2.

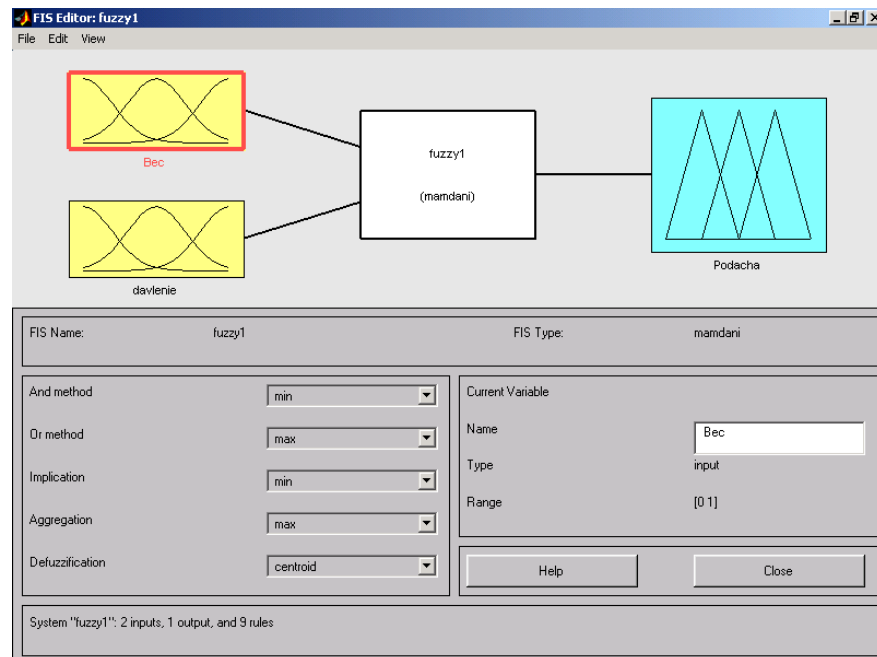


Рисунок 5.2 - Вид окна Fis-редактора после задания структуры системы

2 Зададим теперь функции принадлежности переменных. Через пункт меню View > Edit membership functions.

Задание и редактирование функций принадлежности начнем с переменной «Вес». Сначала в полях Range и Display Range установим диапазон изменения и отображения этой переменной от 0 до 1, подтверждая ввод нажатием клавиши Enter. Затем через пункт меню Edit/Add MFs перейдем к диалоговому окну вида (рисунок 5.3) и зададим в нем три функции принадлежности треугольной формы. Не изменяя размах и положение заданных функций, заменим только их имена на «Низк», «оптимальная», «высокая». Аналогичным образом зададим функции и дадим названия остальным переменным.

Перейдем к конструированию правил. Для этого выберем пункт меню View > Edit rules. Далее введем правила согласно данным предложенных экспертами (рисунок 5.4).

Такая подробная запись представляется достаточно понятной; единица в скобках после каждого правила указывает его «вес», то есть значимость правила. Данный вес можно менять, используя соответствующее поле в левой нижней части окна редактора правил.

Проверка системы в действии. Через пункт меню View > View rules откроем окно просмотра правил и будем изменять значения переменных (рисунок 5.5).

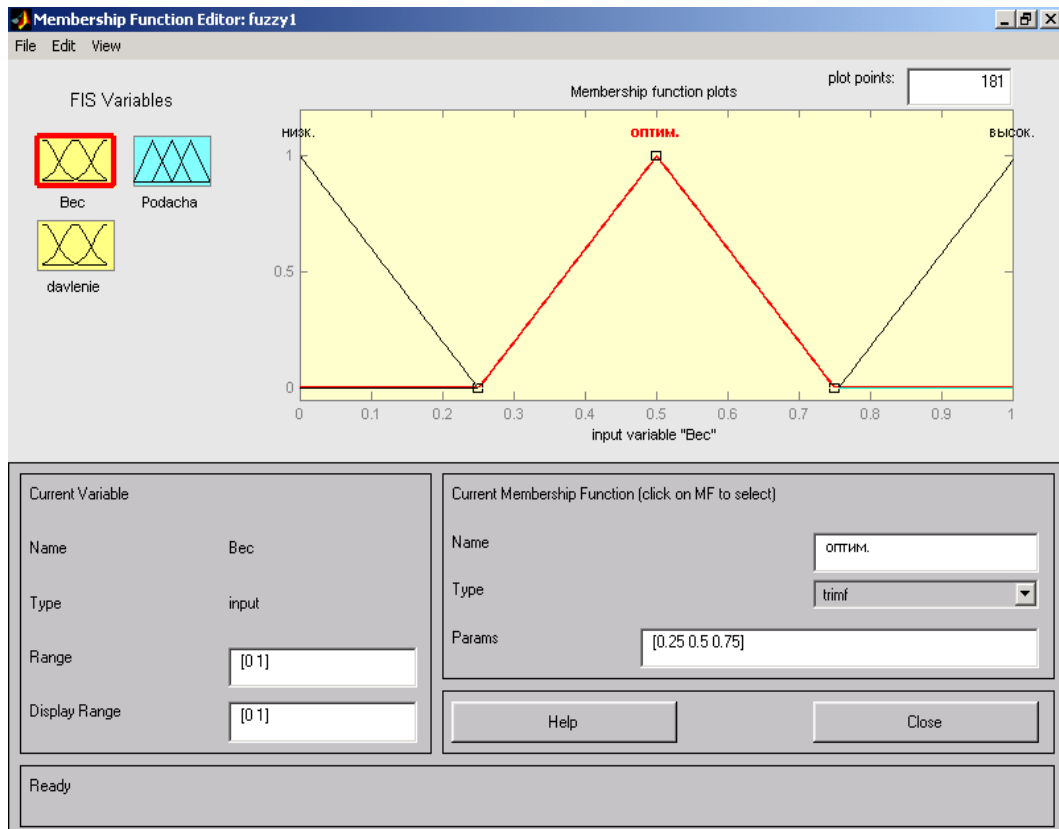


Рисунок 5.3 - Функция принадлежности переменной «Вес»

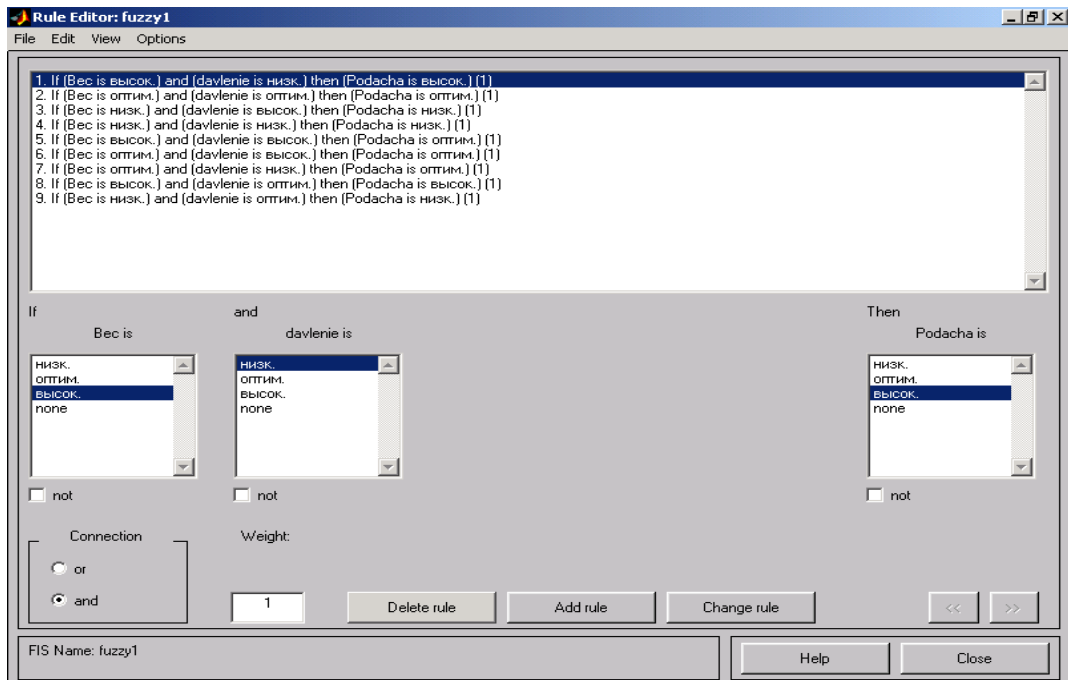


Рисунок 5.4 - Итоговый набор правил в задаче

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

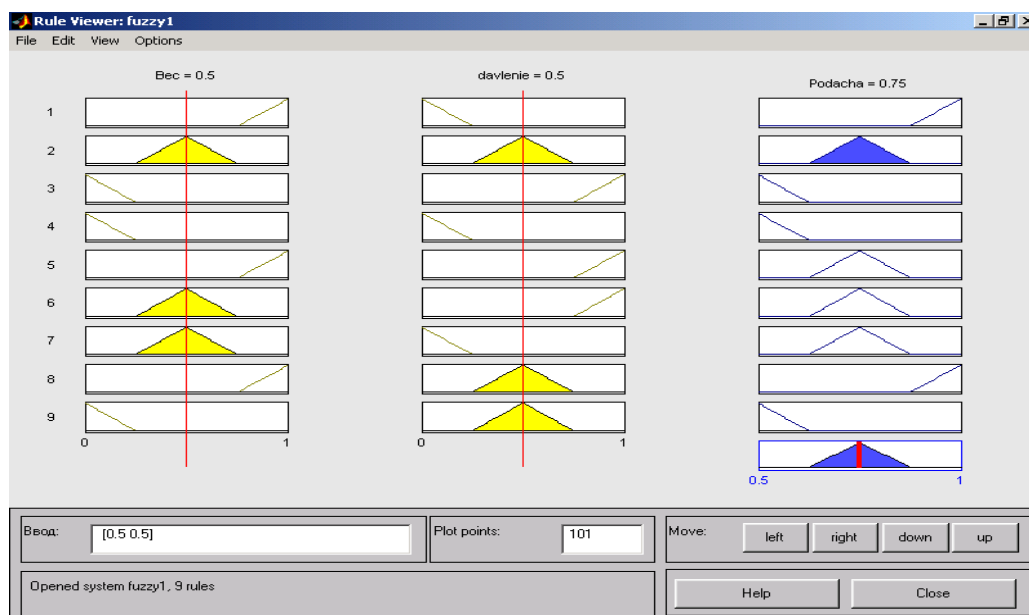


Рисунок 5.5 - Окно просмотра правил в задаче

Подтверждением отмеченной зависимости выходных переменных от входных может служить вид поверхности отклика, который представляется при выборе пункта меню View/View surface (рисунок 5.6); с помощью мышки график можно поворачивать во все стороны. В открывшемся окне, меняя имена переменных в полях ввода (X(input) и Y(input)), можно задать и просмотр одномерных зависимостей.

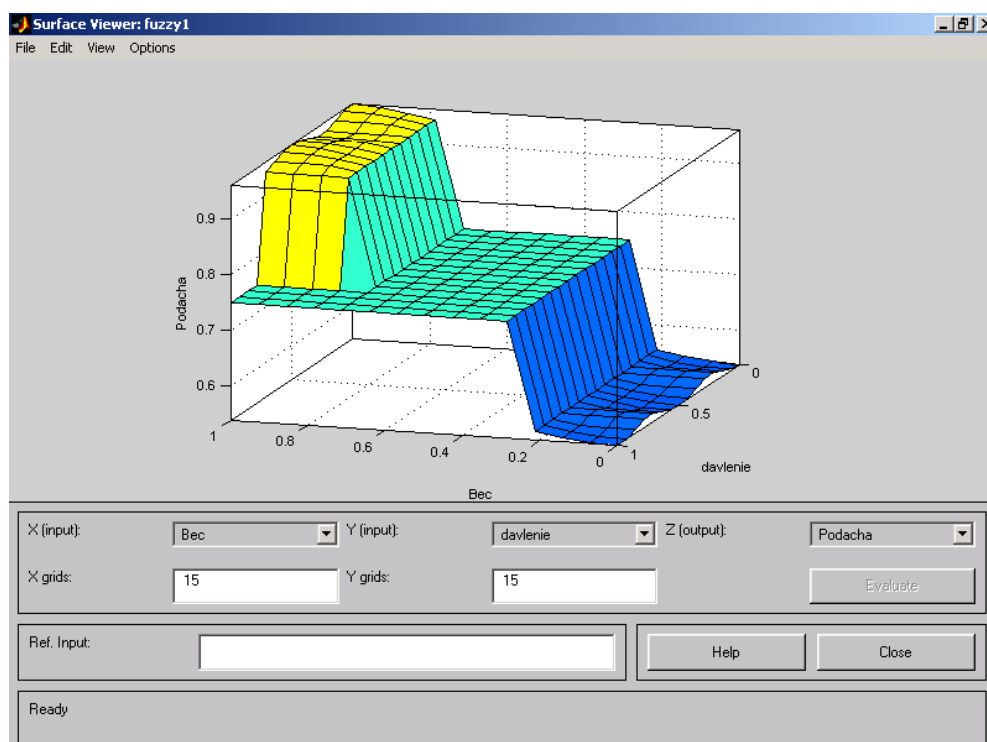


Рисунок 5.6 - Вид поверхности отклика

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

5.3.4 Моделирование электропривода РПД с использованием Fuzzy Logic Controller

В последние годы в системы автоматизации технологических процессов и производств начали активно внедряться модели, методы и технические средства, основанные на теории нечетких множеств. Широкому распространению fuzzy-систем управления в немалой степени способствует программная система MATLAB, в составе которой имеется пакет программ по fuzzy-логике. Fuzzy Logic Toolbox позволяет создавать и редактировать fuzzy-системы управления с нечеткой логикой, называемые в терминах программной системы MATLAB - Fuzzy Inference System или FIS. Эти системы можно создавать, используя как графические инструменты, так и команды рабочего окна MATLAB.

Кроме того, система MATLAB включает в себя пакет моделирования динамических систем Simulink, который в свою очередь позволяет при помощи стандартных блоков, входящих в его библиотеку, сформировать одноконтурную или многоконтурную систему автоматики с аналоговым или fuzzy-регулятором. Смоделируем схему одноконтурной системы автоматического регулирования РПД (рисунок 5.7).

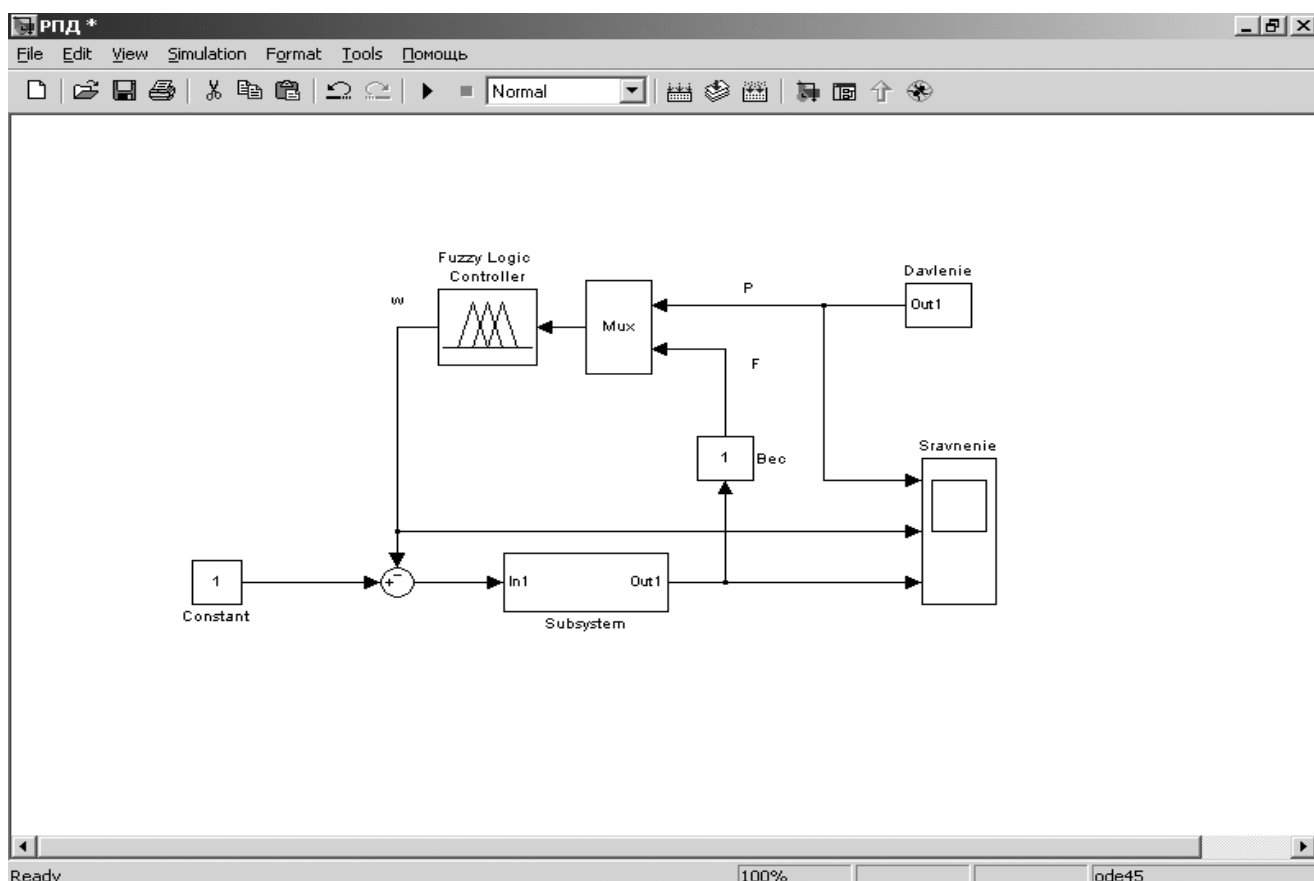


Рисунок 5.7 - Математическая модель электропривода РПД

Система состоит из: Subsystem, в которой заключена модель электропривода буровой лебедки (см. рисунок 4.19), датчика веса, датчика давления и Fuzzy Logic Controller.

Принцип работы состоит в следующем. Сигнал с датчика давления и датчика веса (сигнал датчика веса зависит от скорости подачи долота, чем выше скорость, тем больше давление на грунт и тем меньше вес и наоборот) поступают на вход Fuzzy Logic Controller, где они фаззифицируются. В Fuzzy Logic Controller происходит оценка сигналов и по соответствующим правилам выбирается оптимальная на данный момент скорость подачи (см. рисунок 5.8). Сигнал де фаззифицируется и поступает на вход Subsystem, корректируя заданную скорость подачи.

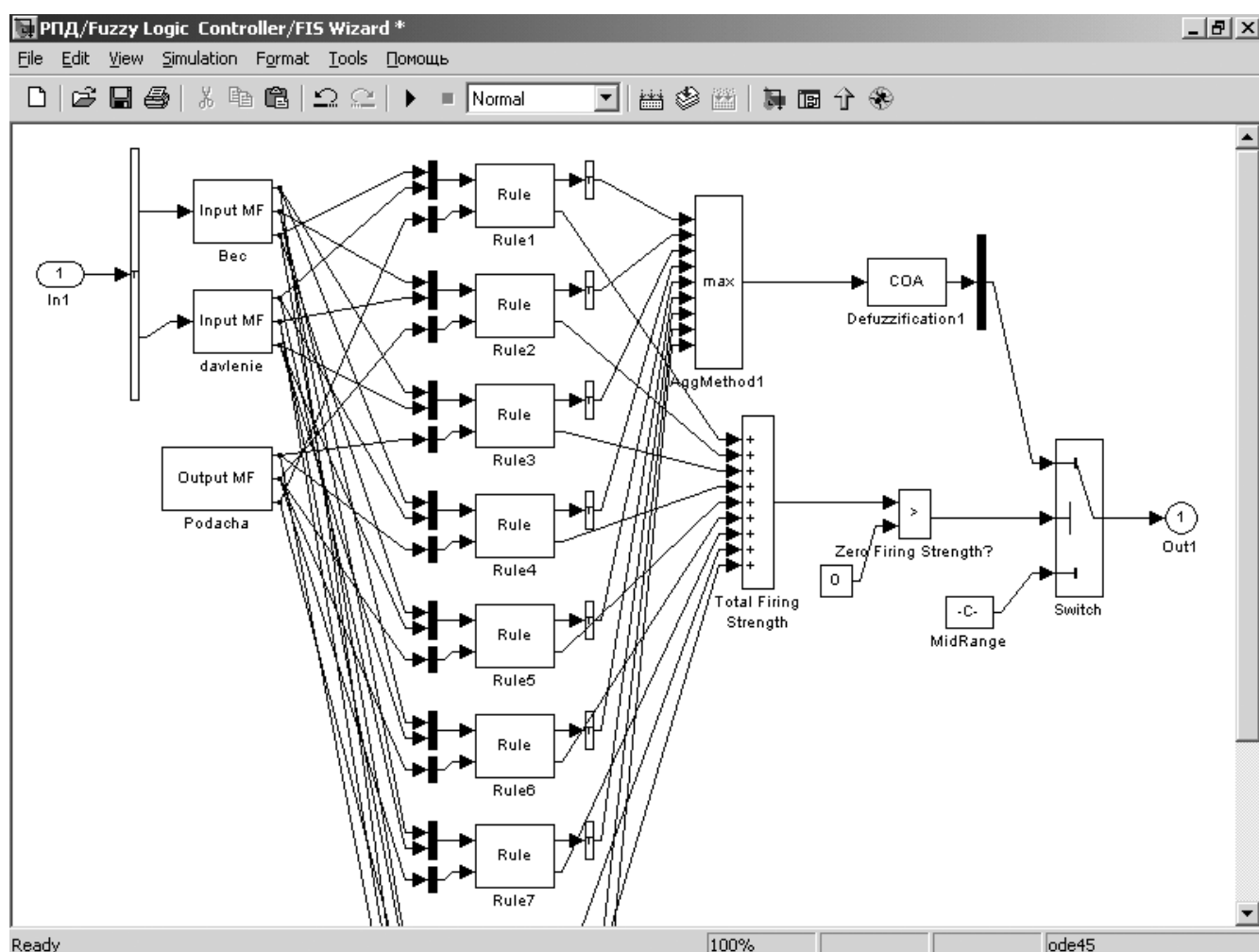


Рисунок 5.8 - Моделирование правил Fuzzy Logic Controller

Чтобы загрузить в Fuzzy Logic Controller нашу заранее созданную программу. В окне модели в меню File выберем пункт Model Properties. В открывшемся окне выберем вкладку Callbacks и в поле Model pre-load function напишем: `fuzzy1=readfis('fuzzy1')`. Данная команда будет каждый раз при открытии файла модели помещать файл `fuzzy1.fis` в Workspace (рабочее пространство системы MATLAB). Это необходимо для нормального функционирования модели. Стоит

заметить, что при внесении изменений в fis-файл, нужно помещать его исправленную версию в WorkSpace либо при помощи пункта Export/To Workspace меню File, либо комбинацией клавиш Ctrl+T, либо каждый раз закрытием и открытием файла модели (однако последний вариант весьма утомителен). В диалоговом окне Simulation Parameters меню Simulation во вкладке Advanced для опции Boolean logic signals необходимо установить значение off. При этом блоки логики будут допускать переменные в форме с плавающей точкой. Графики переходных процессов для модели с fuzzy-регулятором представлены на рисунке 5.9.

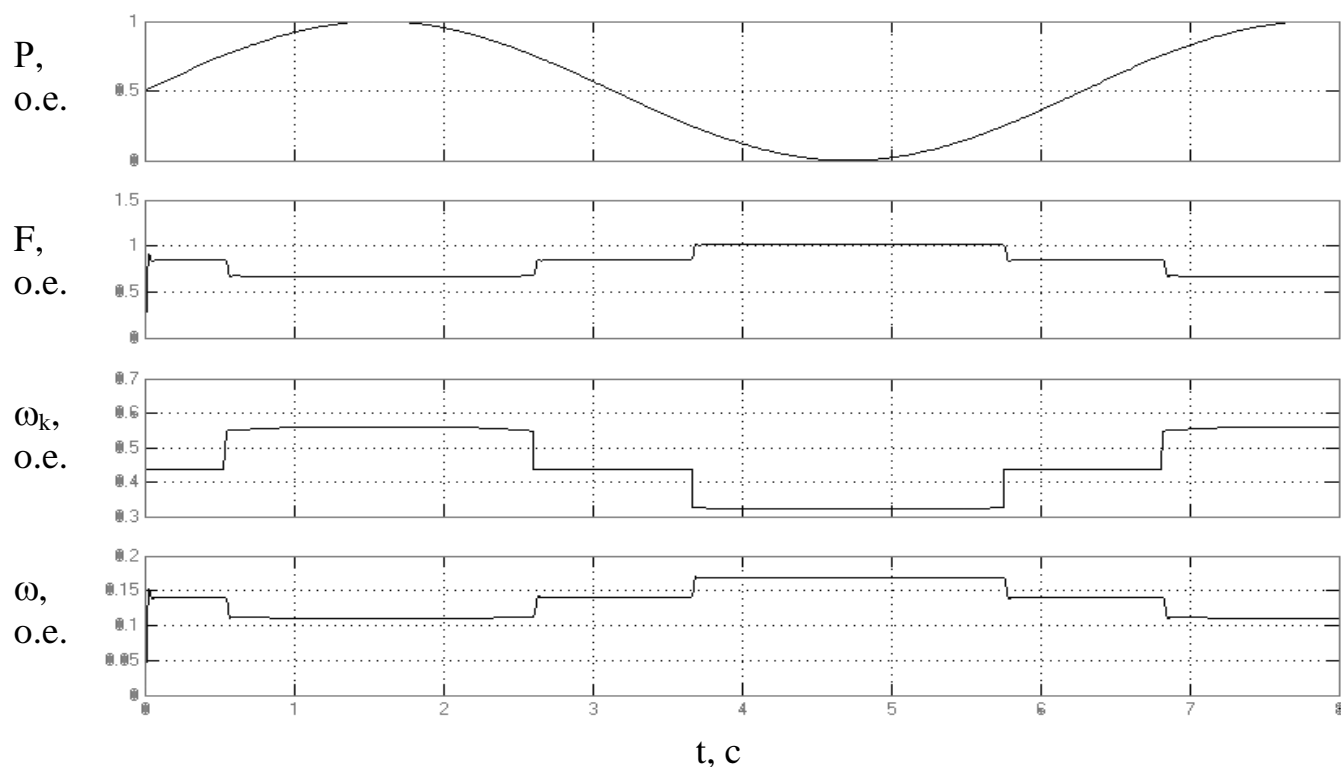


Рисунок 5.9 - Переходные процессы РПД с fuzzy-регулятором

Из графиков переходных процессов видно, что при высоком давлении и низком весе колонны скорость задания ограничивается ω_k и скорость подачи долота уменьшается, и наоборот. Рассмотрим момент провала долота в мягкий грунт (рисунок 5.10).

При подходе долота к грунту давления промывочной жидкости мало, вес колонны при этом максимален, т.к. она еще не соприкасается с грунтом, и соответственно скорость подачи долота высокая. Когда грунт мягкий, долото под весом колонны входит в землю, бур не успевает провернуться, давление жидкости резко возрастает, что может привести к разрушению, как насоса, так и самой колонны. При этом в старых системах регулирования, в которых управление происходило лишь по датчику веса, т.к. вес колонны изменялся не значительно, то и скорость бурения не изменялась, что приводило к аварийным ситуациям. В САР с Fuzzy Logic Controller система при скачке давления промывочной жидкости резко сбрасывает

сывает скорость, благодаря чему долото неглубоко погружается в грунт и соответственно успевает провернуться, не доводя давление на насосе до критического.

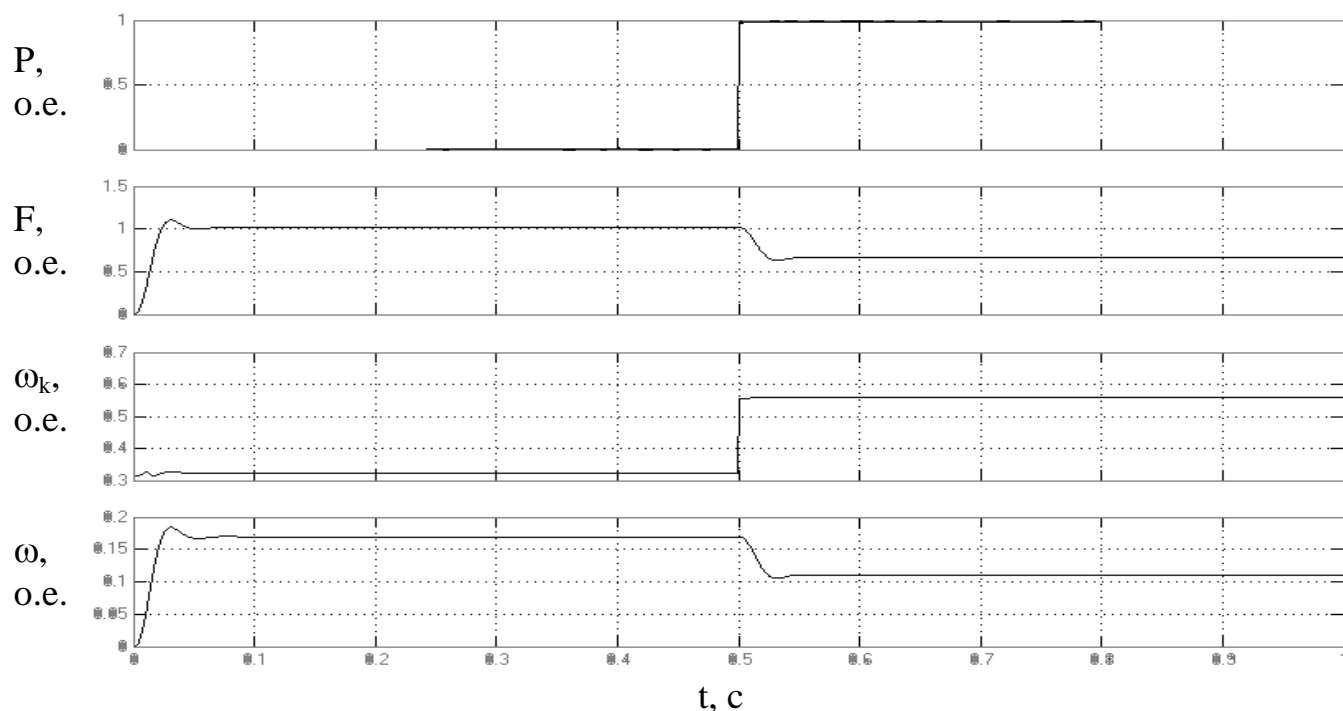


Рисунок 5.10 - Переходные процессы РПД с fuzzy-регулятором в момент провала

5.4 Реализация нечеткой логики в промышленности

В Европе начале 1990-х гг. появилось более 200 видов промышленных изделий и устройств, в которых были реализованы нечеткие модели. Это были, главным образом, бытовые приборы, которые характеризовались более эффективной экономией электроэнергии и водопотребления без дополнительного увеличения цены изделия. Другие промышленные приложения относились к автоматизации производства, включая управление химическими и биологическими процессами, управление станками и сборочными конвейерами, а также различные интеллектуальные датчики. Поскольку этим приложениям сопутствовал коммерческий успех, в настоящее время нечеткая логика рассматривается, как стандартный метод проектирования и получила широкое признание среди инженеров и проектировщиков. Нечеткая логика оказалась превосходным инструментом для разработки систем управления внутренними компонентами персональных компьютеров, а также алгоритмов компрессии речи и видео. Так, например, в системной плате MSI K7T Pro 266 Master-R используется система интеллектуального разгона микропроцессора Fuzzy Logic™3, которая автоматически выбирает частоту системной шины и процессора в зависимости от температуры и рабочей нагрузки базовых компонентов персонального компьютера.

Известны приложения из области теле- и радиосвязи, направленные на устранение влияния отраженных ТВ-сигналов и радиосигналов. Предложены и реали-

зованы программные алгоритмы для сетевой маршрутизации и распознавания речи на основе нечеткой логики. Развернуты серьезные исследования по нейросетевым технологиям. Все эксперты соглашаются с тем, что комбинация нейронных сетей и нечеткой логики будет следующим серьезным шагом в дальнейшем прогрессе высоких технологий.

Сегодня количество технических изделий и программных средств, включая новые патенты, продолжает быстро расти. Поэтому, чтобы остаться конкурентоспособными, многие компании начинают свои собственные внутренние нечеткие проекты.

Таким образом, можно сделать вывод, что область приложений теории нечетких множеств и нечеткой логики с каждым годом продолжает неуклонно расширяться. При этом процесс разработки и применения нечетких моделей тесно взаимосвязан с концепцией системного моделирования как наиболее общей методологией построения и использования информационных моделей сложных систем различной физической природы. Именно поэтому изложению методов нечеткого моделирования предшествует рассмотрение основных особенностей методологии системного моделирования, в контексте которой возможна разработка наиболее адекватных и эффективных информационных моделей сложных систем.

Выводы по разделу пять

Пятый раздел посвящен разработке системы технологической автоматики, а именно, описан электропривод регулятора подачи долота, спроектирована система автоматизации регулятора подачи долота на основе принципа нечеткой логики. Выполнено построение экспертной системы, моделирование электропривода подачи долота с использованием Fuzzy Logic Controller, а также построены переходные процессы в электроприводе РПД.

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

6 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБРАННОГО ВАРИАНТА

6.1 Введение

Целью данного раздела ВКР является определение ожидаемой экономической эффективности от установки двигателя постоянного тока с управляемым микропроцессорным преобразователем Simoreg 6RA7088-6KS22, по сравнению с двигателем постоянного тока, управляемого тиристорным преобразователем напряжения типа КТУ-К14-УХЛ1. В современной промышленности имеет место тенденция к увеличению надёжности электропривода, которую в полной мере может обеспечить цифровой привод. Этот электропривод обладает следующими преимуществами:

- увеличение долговечности и надёжности;
- уменьшение пусконаладочных и ремонтных работ;
- уменьшение числа обслуживающего персонала;
- увеличение производительности.

Для сравнения двух вариантов электропривода используем метод приведённых годовых затрат [7]:

$$Z = E_{\text{норм}} \cdot K + C, \quad (6.1)$$

где $E_{\text{норм}}$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных затрат, $E_{\text{норм}} = 0,16$;

K – первоначальные капитальные затраты, руб.;

C – годовые расходы на эксплуатацию, руб.

В данном случае:

$$K = K_{\text{ку}} + K_{\text{тм}}, \quad (6.2)$$

где $K_{\text{ку}}$ – стоимость комплектующих устройств, руб.;

$K_{\text{тм}}$ – стоимость транспортировки и монтажа, руб.

Примем $K_{\text{тм}} = 0,1 \cdot K_{\text{ку}}$, тогда

$$K = 1,1 K_{\text{ку}}. \quad (6.3)$$

Годовые расходы на эксплуатацию:

$$C = C_{\text{w}} + C_{\text{a}} + C_{\text{то}}, \quad (6.4)$$

где C_{w} – стоимость электроэнергии, потребляемой за год работы электропривода, руб.;

C_{a} – амортизационные отчисления, руб.;

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

$C_{то}$ – отчисления на текущий ремонт и обслуживание, руб.
Примем $(C_a + C_{то}) = 0,1K$, тогда

$$C = C_w + 0,1K. \quad (6.5)$$

Для расчёта необходимы данные $K_{ку}$, C_w .

Расчёты производятся при следующих значениях параметров, входящих в рассчитанные формулы:

– время работы в году

$$T = (\text{кол-во дней в году} - \text{время, необходимое на плановое обслуживание}) \times 8 \text{ часов} = (365 - 12) \times 8 = 2\,824 \text{ часа};$$

– стоимость 1 кВт · ч электроэнергии $\gamma = 4,5 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч}$.

$$C_w = \text{потери электроэнергии} \cdot T \cdot \gamma. \quad (6.6)$$

6.2 Расчет вариантов

Произведём расчёт для обоих вариантов.

Вариант 1 – ДПТ с управляемым микропроцессорным преобразователем Simoreg 6RA7088-6KS22.

Таблица 6.1 – Данные преобразователя Simoreg 6RA7088-6KS22

Наименование	Количество единиц	Стоимость, $K_{ку}$, руб.		Потери электроэнергии, кВт
		за единицу	общая	
Simoreg 6RA7088-6KS22	1	960 000	960 000	789

Стоимость электроэнергии, потребляемой за год работы электропривода

$$C_{w1} = 789 \cdot 2\,824 \cdot 4,5 = 10\,026\,612 \text{ руб.}$$

Вариант 2 – ДПТ, управляемый тиристорным преобразователем напряжения типа КТУ-К14-УХЛ1.

Таблица 6.2 – Данные преобразователя КТУ-К14-УХЛ1

Наименование	Количество единиц	Стоимость, $K_{ку}$, руб.		Потери электроэнергии, кВт
		за единицу	общая	
КТУ-К14-УХЛ1	1	250 000	250 000	995

Стоимость электроэнергии, потребляемой за год работы электропривода

$$C_{w2} = 995 \cdot 2\,824 \cdot 4,5 = 12\,644\,460 \text{ руб.}$$

Первоначальные капитальные затраты:

$$K_1 = 1,1 \cdot 960\,000 = 1\,056\,000 \text{ руб.}$$

$$K_2 = 1,1 \cdot 250\,000 = 275\,000 \text{ руб.}$$

Годовые расходы на эксплуатацию:

$$C_1 = 10\,026\,612 + 0,1 \cdot 960\,000 = 10\,122\,612 \text{ руб.}$$

$$C_2 = 12\,644\,460 + 0,1 \cdot 250\,000 = 12\,669\,460 \text{ руб.}$$

Годовые затраты:

$$Z_1 = 0,16 \cdot 1\,056\,000 + 10\,122\,612 = 10\,291\,572 \text{ руб.}$$

$$Z_2 = 0,16 \cdot 275\,000 + 12\,669\,460 = 12\,713\,460 \text{ руб.}$$

Годовая экономия

$$\Delta Z = C_2 - C_1 = 12\,669\,460 - 10\,122\,612 = 2\,546\,848 \text{ руб.} \quad (6.7)$$

Дополнительные капитальные вложения

$$\Delta K = K_1 - K_2 = 1\,056\,000 - 275\,000 = 781\,000 \text{ руб.} \quad (6.8)$$

Срок окупаемости

$$T_{\text{ок.}} = \Delta K / \Delta Z = 781\,000 / 2\,546\,848 = 0,3 \text{ г.} = 3,6 \text{ мес.} \quad (6.9)$$

6.3 Сравнение экономических показателей

Экономические показатели сравнения стоимости двух вариантов приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Экономические показатели стоимости двух вариантов

Наименование показателя	Значение, руб.	
	вариант 1 (проектируемый)	вариант 2
Капитальные затраты на оборудование, К	1 056 000	275 000
Годовые эксплуатационные расходы, С, в том числе:	10 122 612	12 669 460
– стоимость электроэнергии, С _в ;	10 026 612	12 644 460
– амортизационные отчисления и затраты на ремонт, С _а + С _{то} = 0,1К	105 600	27 500
Приведенные затраты, З	10 291 572	12 713 460

Выводы по разделу шесть

Исходя из приведенного выше анализа стоимости двух различных типов электропривода видно, что, несмотря на то, что стоимость микропроцессорного преобразователя Simoreg 6RA7088 значительно больше тиристорного преобразователя напряжения типа КТУ-К14-УХЛ1, получаем, что экономически рациональным является вариант электропривода Simoreg, поскольку:

- стоимость электроэнергии, потребляемой приводом в течение года ниже на 2,6 млн. руб.;
- минимальны массогабаритные показатели;
- мал срок окупаемости.

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

7 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

7.1 Введение

Буровые установки предназначены для бурения эксплуатационных и глубоких разведочных скважин вращательным способом. Буровая лебедка является одним из основных механизмов буровой установки.

Обеспечение безопасности условий труда имеет важное значение, т.к. непосредственно касается вопросов жизни и здоровья обслуживающего персонала. Каждый из них обязан соблюдать правила техники безопасности и промышленной санитарии.

При бурении скважин остро встает вопрос экологичности, т.к. при бурении нефтяных и газовых скважин возникают выбросы и открытые фонтаны газа и нефти, которые кроме материального ущерба приводят к сильному загрязнению окружающей среды и истощению пластовой энергии месторождений. Одновременно, вследствие возникновения от этого пожаров, выходит из строя буровое оборудование, и бурение скважин приостанавливается на продолжительное время или скважина совсем ликвидируется.

В данном разделе сформулированы требования по безопасности труда при эксплуатации, обслуживании, ремонте буровой лебедки, представляющей собой составную часть буровой установки.

7.2 Обеспечение безопасности работающих

В нефтегазодобывающей промышленности существуют и действуют межотраслевые правила ведения работ: «Правила безопасности в нефтегазодобывающей промышленности» и «Единые технические правила ведения работ при бурении скважин».

7.2.1 Характеристика условий труда

Эксплуатация буровой лебедки буровой установки ведется на открытом воздухе в различных климатических зонах (тип атмосферы 11 по ГОСТ 15150-69, категория размещения 2 по ГОСТ 15150-69) при этом скорость ветра, температура и влажность воздуха могут изменяться в широких пределах, содержание нетокопроводящей пыли не должно превышать 0,7 мг/м.

При работе буровой лебедки могут иметь место следующие вредные и опасные факторы:

- поражение обслуживающего персонала электрическим током;
- травмирование персонала подвижными частями талевого системы;
- повышенное шумовое воздействие;
- воздействие вибрации;
- возможность пожаров и взрывов нефтегазовой смеси.

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

Далее эти факторы рассмотрены более подробно [8].

7.2.2 Электробезопасность

Электробезопасность (ГОСТ 12.1.019-90) – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от опасного и вредного воздействия на человека электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Для характеристики воздействия электрического тока на организм человека, согласно ПТЭ установлены следующие значения:

1 Ощутимый пороговый ток – наименьшее значение тока, вызывающее ощутимые раздражения 0,5 – 1,5 мА для переменного тока и 5 – 7 мА для постоянного тока.

2 Пороговый не отпускающий ток – минимальный ток, вызывающий судорожное сокращение мышц, 6 – 10 мА для переменного тока и 15 мА для постоянного тока.

3 Пороговый фибрилляционный ток – наименьшее значение тока, вызывающее остановку сердца 50 – 70 мА.

4 Смертельный ток 100 мА.

Поражение человека воздействием электрического тока возможно в следующих случаях:

1 Однофазное прикосновение незащищенного человека от земли к незащищенным токоведущим частям электроустановки, находящейся под напряжением.

2 Приближение на опасное расстояние человека, незащищенного от земли, к токоведущим, незащищенным изоляцией частям электроустановок, находящихся под напряжением.

3 Одновременное прикосновение человека к двум токоведущим незащищенным частям электроустановки под напряжением.

Необходимо периодически производить испытания повышенным напряжением и контролировать сопротивление изоляции.

Электрооборудование, находящееся на открытом воздухе, согласно ПУЭ соответствует особо опасным помещениям.

В автоматизированном электроприводе буровой лебедки применяется оборудование высокого напряжения ($690 \text{ В} \pm 10 \%$) промышленной частоты ($50 \text{ Гц} + 0,5 \%$), следовательно, нельзя полностью исключить возможность поражения обслуживающего персонала электрическим током.

Корпусы электрических машин, трансформаторов, светильников, аппаратов и другие металлические нетоковедущие части могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции и контакте их с токоведущими частями. Это создает угрозу безопасности персонала. Следовательно, необходимы меры защиты.

В сетях с изолированной нейтралью применяется защитное заземление. Металлические нетоковедущие части, которые могут оказаться под напряжением, соединяют с землей или ее эквивалентом. Безопасность обеспечивается путем за-

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

земления корпуса посредством заземлителя, имеющего малое сопротивление заземления.

Электрический ток может оказывать на организм человека термическое, электролитическое, механическое и биологическое действие.

Термическое действие проявляется в ожогах, нагреве тканей и органов, находящихся на пути прохождения тока, что вызывает серьезные функциональные расстройства, связанные со свертыванием белка.

Электролитическое действие заключается в том, что в крови, лимфе, клетках происходит электролиз неорганических и частично органических компонентов, вызывая нарушение их физического и химического состава, а, следовательно, нарушение обмена веществ в организме.

Механическое действие проявляется в расслоениях, разрывах и других повреждениях тканей в результате электродинамического эффекта и мгновенного взрывоподобного образования пара при перегреве жидких тканей.

Биологическое действие заключается в нарушении внутренних биологических процессов.

7.2.3 Защита от атмосферного электричества

Молния является мощным поражающим опасным фактором. Прямой удар молнии приводит к механическим разрушениям зданий, сооружений, скал, деревьев, вызывает пожары и взрывы, является прямой или косвенной причиной гибели людей. Прямой удар молнии называют первичным воздействием атмосферного электричества.

К вторичному воздействию (атмосферного электричества) относят: электростатическую и электромагнитную индукции; занос высоких потенциалов в здания и сооружения. Они релаксируют обычно путем электрического разряда на ближайшие заземленные предметы, что может вызвать электротравматизм людей, воспламенение горючих смесей и взрывы.

Требуемая степень защиты зданий, сооружений и открытых установок от воздействия атмосферного электричества зависит от взрывопожароопасности названных объектов и обеспечивается правильным выбором категории устройства молниезащиты и типа зоны защиты объекта от прямых ударов молнии.

Инструкция по проектированию и устройству молниезащиты СН 305-77 устанавливает три категории устройства молниезащиты (I, II, III) и два типа (А и Б) зон защиты объектов от прямых ударов молнии.

Зона защиты типа А обеспечивает перехват на пути к защищаемому объекту не менее 99,5 % молний, а типа Б не менее 95 %.

Молниезащита буровых вышек осуществляется по III категории. Тип зоны защиты этих объектов определяется в соответствии с указаниями СН 305-77.

Объекты III категорий должны быть защищены от прямых ударов молнии и от заноса высоких потенциалов внутрь зданий и сооружений.

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		90

7.2.4 Шум

Физическое явление шума – это волновое колебание упругой среды. Источником шума являются различные машины, вентиляционные установки, электродвигатели и трансформаторы. Длительное воздействие шума на организм человека приводит к следующим нежелательным последствиям:

- утомление;
- снижение остроты зрения и слуха;
- повышение кровяного давления;
- снижение внимания.

Сильный шум может стать причиной заболевания сердечно-сосудистой и нервной систем.

При интенсивности звука более 140 дБ возникают болевые ощущения.

Источниками производственного шума в помещении оператора являются вентиляторы, трансформаторы и освещение. Технические условия регламентируют уровень шума работающего привода не более 90 дБ. Для операторов пульта управления допустимый уровень шума на рабочем месте не должен превышать 80 дБ при полосе частот 1000 Гц (по ГОСТ 12.1.029-80).

7.2.5 Вибрация

Вибрация высокой интенсивности при продолжительном воздействии приводит к серьезным изменениям деятельности всех систем организма и может вызвать тяжелое заболевание. Вредное влияние вибраций на организм человека заключается в их локальном раздражающем и повреждающем воздействии на ткани и содержащиеся в них рецепторы. Поскольку эти рецепторы связаны с центральной нервной системой, их рефлекторное действие оказывает влияние на различные системы организма.

Интенсивные общие вибрации приводят к повреждению внутренних органов человека. Длительное воздействие вибраций сопровождается различными типами гистологических, гистохимических и биохимических изменений, приводящих к дистрофическим явлениям.

Вибрации воздействуют на сенсорную систему. Общие вибрации ухудшают остроту и сужают поле зрения, снижают светочувствительность глаз и нарушают вестибулярную функцию. Воздействие локальных вибраций снижает вибрационную, тактильную, температурную, болевую и проприоцептивную чувствительность.

Буровые лебедки относятся к категории вибрации третьего типа "а" (технологическая вибрация, воздействующая на операторов стационарных машин и оборудования или передающаяся на рабочие места, не имеющие источников вибрации). Вибрация общего вида, направлена по всем трем координатным осям. Для данной категории вибрации ГОСТ 12.1.012-90 устанавливает следующие нормативные, скорректированные по частоте и эквивалентные скорректированные значе-

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		91

ния виброускорения $0,1 \text{ м/с}^2$ с уровнем 100 дБ и виброскорости $0,2 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$ с уровнем 92 дБ.

По условиям эксплуатации буровой лебедки вибрация не может оказать значительного вредного влияния на организм человека, кроме того, уменьшению воздействия вибрации способствует наличие массивного фундамента.

7.2.6 Пожароопасность

Сама буровая лебедка не представляет большой пожароопасности, но так как продуктом добычи является горючая жидкость – нефть (или газ), вероятность возникновения пожара достаточно велика (особенно при присутствии в скважине горючих газов, таких как метан, бутан и т.п.). Поэтому данное производство следует отнести к группе А взрывопожароопасных предприятий. При горении нефтепродуктов кроме обычных опасностей, возникающих при любом пожаре, существуют и специфические, например выделение при горении углеводородов различных канцерогенных веществ. Поэтому при тушении пожаров на нефтяных скважинах необходимо использовать изолирующие противогазы. Предел огнестойкости строительных конструкций устанавливается по времени (в минутах) наступления одного или последовательно нескольких, нормируемых для данной конструкции, признаков предельных состояний (приложение №21 к Федеральному закону №123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"):

- потери несущей способности (R);
- потери целостности (E),
- потери теплоизолирующей способности (I).

Пределы огнестойкости строительных конструкций указаны в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Пределы огнестойкости строительных конструкций

В минутах

Степень огнестойкости зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков	Несущие стены, колонны и другие несущие элементы	Наружные ненесущие стены	Перекрытия междуэтажные (в том числе чердачные и над подвалами)	Строительные конструкции лестничных клеток	
				внутренние стены	марши и площадки лестниц
I	R 120	E 30	REI 60	REI 120	R 60
II	R 90	E 15	REI 45	REI 90	R 60
III	R 45	E 15	REI 45	REI 60	R 45
IV	R 15	E 15	REI 15	REI 45	R 15
V	не нормируется				

Причины пожара могут быть электрического и неэлектрического характера. Ниже приведены возможные причины, разбитые на группы.

Причины электрического характера:

- токи коротких замыканий и перегрузок проводников, вызывающие их перегрев до высоких температур, что может вызвать воспламенение изоляции;
- плохие контакты в местах соединения проводников, когда вследствие большого переходного сопротивления выделяется значительное количество тепла;
- электрическая дуга, возникающая между контактами коммутационных аппаратов;
- перегрузка и неисправности обмоток электродвигателей и трансформаторов;
- разряд молнии.

Причины неэлектрического характера:

- самовоспламенение и самовозгорание некоторых материалов (горючие жидкости и газы);
- неосторожное курение.

Основная задача противопожарной техники является предотвращение пожаров или ограничение распространения пожаров в случае их возникновения. Возникновение пожаров на буровых происходит по следующим основным причинам:

- нарушение правил пожарной безопасности при монтаже пожароопасного оборудования;
- работа на неисправном электрогазосварочном оборудовании;
- самовоспламенение горючих веществ при неправильном их хранении;
- замазученность и захламленность территории строительными материалами;
- неосторожное обращение с огнем, курение и др.

Главным средством по предупреждению пожаров от неосторожного обращения с огнем является инструктаж работающих и точное соблюдение правил и инструкций пожарной безопасности. Для курения должны отводиться специальные места.

Пожароопасное оборудование: электрические двигатели, склады горючесмазочных материалов (ГСМ), электропроводка и электрооборудование.

Склад ГСМ располагается не ближе 40 м от буровой, а топливопровод оборудуется задвижкой или запорным вентилем. Не разрешается хранить топливо и обтирочный материал внутри машинного отделения. В самом машинном отделении устанавливается ящик с песком, огнетушители и другие подручные средства.

Для предупреждения возникновения пожаров из-за неисправности электрооборудования и электропроводки ограждают токоведущие части и удаляют их от воспламеняющихся предметов и возможного повреждения, устанавливают плавкие предохранители и применяют защитное отключение, предотвращающее короткое замыкание и загорание электропроводки, заземляют электрооборудование.

Для тушения возникшего пожара рабочие должны обеспечиваться следующим пожарным инвентарем и подручными средствами: баграми, ломami, ящиками с

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93

песком, ведрами, брезентовыми и асбестовыми покрывалами, пожарными рукавами, помпами и огнетушителями. Пожарный инвентарь должен храниться на передвижном пожарном щите и окрашиваться в красный цвет, использование его в других целях не разрешается.

Исправность и наличие пожарной техники должно периодически проверяться.

7.2.7 Ограждение движущихся частей механизмов

Для создания безопасных условий труда движущиеся части механизмов должны иметь ограждения, исключающие случайное попадание рабочих в опасную зону во время обслуживания оборудования. Ограждения могут быть сплошными, сетчатыми и перильными.

Сплошные ограждения устанавливаются на расстоянии не менее 35 см от движущихся частей механизмов.

Сетчатое ограждение выполняется с целью обеспечения простоты конструкции ограждений. Размер ячеек металлических сеток должен быть не более 30x30 мм. Высота сетчатого ограждения должна быть не менее 1,8 м. механизмы, имеющие высоту менее 1,8 м, огораживаются полностью.

Ограждения, устанавливаемые на расстоянии более 35 см от движущихся частей механизмов, могут выполняться в виде перил. Высота перил определяется размерами движущихся частей и должна быть не менее 1,25 м. нижний пояс ограждений – 20 см, промежуток между поясами должен быть не более 40 см, а расстояние между осями стоек – не более 2,5 м.

7.2.8 Освещенность буровой установки

Для выполнения работ в ночное время буровые установки обеспечиваются осветительной системой, которая питается от сети напряжением 220 В. В осветительную систему буровой входят: распределительные устройства, с которых снимается осветительное напряжение, пакетные выключатели, электропроводка, осветительная арматура и светильники.

Электропроводка для освещения буровых ведется двумя цепями: одна цепь включает освещение вышки, а другая – освещение всего оборудования, расположенного вне башни вышки. Для электропроводки используются изолированные провода с алюминиевыми жилами марки АПРТО, АПТРФ и АПН и с медными жилами марки ПРТО, ПРВД, ТПРФ и др.

Буровые освещают взрывозащищенными светильниками марки НОБ-300, НОБ-150, ВГЗ-200 с лампами накаливания 150, 200, 300 Вт.

Для наружного освещения используют светильники открытого исполнения и прожекторы заливающего света марки ПЗС-45.

Взрывозащищенные светильники снабжают защитными стеклами и сетками.

Ниже приведен пример расчета освещения пульта управления лебедкой.

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94

Площадь помещения оператора около 10 м^2 . Норма освещенности для данного типа работ составляет $E_n = 300 \text{ лм}$ (СНиП 23-05-95).

Необходимое количество светильников

$$N = \frac{E_n \cdot k_3 \cdot S \cdot z}{F \cdot n},$$

где $k_3 = (1,3 - 1,8)$ – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности в процессе эксплуатации, принимаем $k_3 = 1,5$;

$z = 1,15$ – коэффициент минимальной освещенности;

$n = 0,32$ – коэффициент использования светового потока для данного светильника;

$F = 2200 \text{ лм}$ – световой поток светильника НОБ-300.

$$N = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 10 \cdot 1,15}{2200 \cdot 0,32} = 7,3509.$$

Принимаем 7 светильников. Для освещения пульта управления лебедкой светильники крепят на ногах вышки над лебедкой на высоте 6 м светильники располагают под углом $45-50^\circ$, а над лебедкой – под углом $25-30^\circ$ к вертикали так, чтобы излучаемый свет не ослеплял рабочего в процессе наблюдения за контрольно-измерительными приборами. Специальный светильник устанавливается перед щитом с приборами.

Источником местного освещения служат лампы накаливания, которые отличаются компактностью, могут включаться в сеть без дополнительной пускорегулирующей аппаратуры, обладают необходимым спектральным составом света.

Возможно также освещение светильниками прожекторного типа ПЗС-45 с лампами ДРЛ-700. Расчет светильников прожекторного типа достаточно сложен, поэтому здесь лишь определена необходимая мощность прожекторной установки:

$$W = m \cdot E \cdot k_3 = 0,14 \cdot 300 \cdot 1,3 = 54,6 \text{ Вт/м}^2,$$

где W – удельная мощность, Вт/м^2 ;

m – коэффициент, характеризующий лампу (для ДРЛ $m = 0,12 - 0,16$).

7.2.9 Электромагнитные поля

Электромагнитное поле можно рассматривать состоящим из двух полей: электрического и магнитного. Электрическое поле возникает при наличии напряжения на токоведущих частях, магнитное при прохождении тока по этим частям. При малых частотах, в том числе при 50 Гц, электрическое и магнитное поле практически не связаны между собой, поэтому их можно рассматривать отдельно друг от друга и также отдельно рассматривать влияние, оказываемое на человека.

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		95

Напряженность магнитного поля в действующих установках промышленной частоты не превышает 20-25 А/м, в то время как вредное действие магнитного поля на биологический объект проявляется при напряженности 150-200 А/м.

Интенсивное электрическое поле промышленной частоты вызывает у работающих нарушение функционального состояния центральной нервной системы, сердечной деятельности и системы кровообращения. При этом наблюдается повышенная утомляемость, снижение точности движений, изменение кровяного давления и пульса, возникновение болей в сердце и т.п. Наряду с биологическим действием появляются разряды между человеком и металлическими предметами, имеющими иной потенциал, чем человек. При этом через человека в землю проходит разрядный ток, который в некоторых случаях может достигать значений опасных для жизни.

Напряженность электромагнитного поля электрического оборудования рабочей станции оператора менее 5 кВ/м, следовательно, специальную защиту от электромагнитных полей использовать не нужно.

7.2.10 Радиоактивные и ядовитые вещества

Радиоактивные и ядовитые вещества отсутствуют, но есть возможность загрязнения окружающей среды нефтью – веществом вредным с точки зрения экологии.

7.3 Экологичность проекта

Любое предприятие нефтедобывающей промышленности несет потенциальную опасность для экологии, поэтому необходимо эту опасность уменьшать всеми доступными путями. Наибольшую опасность с точки зрения экологии представляет загрязнение окружающей среды нефтепродуктами, выброс которых возможен при авариях.

Важную роль в обеспечении экологической безопасности играют средства технологического контроля механического оборудования. Своевременная диагностика аварийного состояния механизма позволит существенно снизить масштабы возможного загрязнения окружающей среды.

Для того чтобы избежать утечек нефти в окружающую среду предлагаются следующие меры:

- возможно скорейшее обнаружение и устранение мест утечек;
- установка фильтров и очистных сооружений;
- обеспечение немедленного сбора разлившейся нефти в специальные резервуары.

Анализ причин выбросов показывает, что часто выбросы происходят вследствие несоблюдения элементарных правил бурения скважин и регламентированных требований, особенно при подъеме колонны бурильных

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		96

труб из скважины. Кроме того, выбросы происходят при бурении скважин на новых площадках, в условиях отсутствия информации о геологическом разрезе.

В результате нарушений требований к оснащению буровой противовыбросовым оборудованием, а также в результате неисправности, неправильного монтажа и некомплектности такого оборудования происходит переход выброса в открытое фонтанирование нефти и газа, что в свою очередь приводит к очень тяжелым последствиям и авариям. Среди прочих причин этого еще выделяют неспособность персонала быстро принять нужное решение по устранению аварии, что приводит к ее усугублению, психологическое влияние угрозы открытого фонтанирования на членов бригады.

Углеводороды — природный ресурс, а это значит, хотим мы того или нет, но добыча углеводородного сырья является прямым вмешательством в природу. Из последних катастроф в нефтегазовой сфере самым громким событием, бесспорно, является авария на нефтяной платформе Deepwater Horizon в Мексиканском заливе, случившаяся весной 2010 года. По итогам долгого и кропотливого расследования причин аварии было установлено, что главная из них — стремление компании British Petroleum, арендовавшей платформу, сократить стоимость и сроки проведения работ на месторождении, пусть и в ущерб безопасности.

Удалось ли компании сэкономить? Нет. Продолжают ли таким же образом экономить другие компании? Зачастую да. Хотя с каждым годом подход к экологическим проблемам становится серьезнее во всем мире, включая Россию.

Нефтяные компании стараются предусматривать риски на всех этапах. Как сообщается на сайте крупнейшей российской нефтяной компании «Роснефть», «на стадии разведки методы теоретического прогнозирования, пассивного моделирования, аэрофотосъемки и космической съемки позволяют с высокой степенью точности определить, где стоит искать нефть, при этом минимально влияя на окружающую среду». Нефтяники в основу своей работы ставят принцип минимального воздействия — извлечь большее количество нефти при меньшем количестве скважин позволяет, в частности, горизонтальное и направленное бурение. Сам по себе отбор нефти из недр и закачка воды в залежи неизбежно влияют на состояние массивов пород. Но пока этот экологический риск до конца не изучен, внимание приковано к двум основным типам угроз для окружающей среды.

Первый — локальные загрязнения. Сюда относятся токсическое загрязнение почв, рек и водоемов нефтепродуктами, деградация ландшафтов в результате промышленного освоения. По информации экологов, в самом «ресурсном», пожалуй, регионе России — Ханты-Мансийском автономном округе — к категории нарушенных земель можно отнести до 2% территории. Второй важнейший риск — загрязнение атмосферы. Как правило — в результате сжигания попутного нефтяного газа (ПНГ), из-за которого в воздух поступают диоксиды азота, монооксид углерода, метанол, сажа и метан. 7% всех парниковых выбросов России — это результат сжигания ПНГ.

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		97

Что касается разливов нефти на разных стадиях добычи и транспортировки, то достоверных данных об этом просто нет. Компании точно фиксируют количество утечек, но по их масштабу данные разнятся на четыре порядка. И первым шагом к безопасной добыче должно стать по крайней мере создание объективной статистики — для понимания масштабов проблемы. Вторым — мотивация всех участников процесса к большей ответственности.

Сейчас российские компании не мотивированы ни штрафами, ни тем более опасностью отзыва лицензии. Система страхования от экологического ущерба тоже пока в зачатке — а это значит, что не действует на благо экологии и «невидимая рука рынка», как в западных странах. И по большому счету та работа, которую нефтяники проводят по налаживанию экологических стандартов, делается ими по собственному почину и доброй воле. Все чаще от нефтяных компаний приходится слышать, что забота о природе важна, потому что, помимо прочего, в конечном счете хороша и для бизнеса. Это понимание, к которому пришли и их западные коллеги.

С выбросами ПНГ все понятнее. На самом высоком уровне перед энергетиками была поставлена задача резко снизить выбросы попутного газа. Объем его утилизации должен был повыситься до 95% в этом году (то есть лишь 5% газа попадали бы в атмосферу). Компании отрасли пытались доказать, что сроки поставлены нереальные, но правительство осталось непреклонным. В результате нефтегазовая отрасль увеличила затраты на утилизацию в разы и действительно далеко продвинулась в утилизации газа. В 2012 году было утилизировано 76,2%, в 2013-м — 78,8%, в 2014-м — до 86,7%, в 2015-м — 93,7%. Требуемое значение — 95% утилизации достигнуто в 2016 году. Это на 2 года позже намеченного срока, но все же прогресс значительный.

Публичные компании стремятся сделать свои экологические инициативы максимально открытыми. В частности, НОВАТЭК участвует в проектах по раскрытию информации о выбросах парниковых газов и энергоэффективности производства Carbon Disclosure Project (CDP) и об использовании водных ресурсов — CDP Water Disclosure. Представители компании утверждали, что, участвуя в этих проектах, стремятся найти баланс между рисками, связанными с изменением климата, и эффективностью инвестиционных проектов. НОВАТЭК работает в районах Крайнего Севера — это регион, по словам экологов, связанный с повышенными рисками. В компании это понимают. Помимо программы по рациональному использованию ПНГ НОВАТЭК использует комплекс по фракционированию и перевалке стабильного газового конденсата в порту Усть-Луга на Балтийском море, а также сооружения для биологической очистки сточных вод мощностью 100 кубометров в сутки.

Постепенно компании приходят к тому, что выгоднее не устранять последствия загрязнений, а предотвращать их. «Основная цель — переход от практик устранения причиненного ущерба к объективной оценке потенциальных экологических рисков и внедрению превентивных мер для предупреждения негативного воздействия и обеспечения экологической безопасности», — говорят в компании «Газпром нефть». По этой причине в «Газпром нефти» уделяется

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		98

повышенное внимание не только программам реабилитации нарушенных земель, но и мероприятиям, связанным с мониторингом и контролем. Разумеется, полностью нивелировать экологический ущерб нереально, однако при должном финансировании экологической составляющей и своевременной модернизации оборудования и инфраструктуры возможно свести этот урон к минимуму.

7.4 Чрезвычайные ситуации

Чрезвычайная ситуация – нарушение нормальных условий жизнедеятельности людей на объекте или определенной территории, вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, а также применением возможным противником современных средств поражения, и приводящее к людским и материальным потерям.

Структура объекта, исследуемого в данной ВКР, заставляет отдельно рассмотреть чрезвычайные ситуации техногенного характера. К ним можно отнести:

- взрывы и пожары;
- аварии в электроэнергетических сетях;
- внезапное разрушение сооружений.

Вышеперечисленные чрезвычайные ситуации могут произойти из-за ошибок в проектировании и эксплуатации, в частности, нарушения правил пожарной безопасности, а также воздействия окружающей среды (рисунок 7.1).

На рисунке 7.1 цифрами обозначены следующие причины и опасности: 1 - брак в соединительных деталях; 2 - неправильная сборка частей опоры; 3 - неверный выбор режима работы; 4 - превышение максимального веса буровой колонны; 5 - размыв грунтовыми водами; 6 - открытие подземных полостей; 7 - ошибка при монтаже опоры; 8 - перегрузка буровой лебедки; 9 - некачественный бетон; 10 - проседание грунта; 11 - внезапный выброс газа; 12 - внезапный выброс нефти; 13 - разрушение опор; 14 - разрушение фундамента; 15 - разрушение конструкции башни; 16 - землетрясение; 17 - внезапное разрушение сооружения.

При возникновении наиболее вероятной чрезвычайной ситуации - пожара, необходимо:

- обеспечить эвакуацию персонала в соответствии со схемой эвакуации;
- оценить масштабы пожара и оповестить пожарных;
- принять меры по ликвидации пожара собственными силами (если это возможно);
- принять меры по оказанию помощи пострадавшим;
- принять меры по выявлению причин возникновения чрезвычайной ситуации для исключения ее повторения в будущем.

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		99

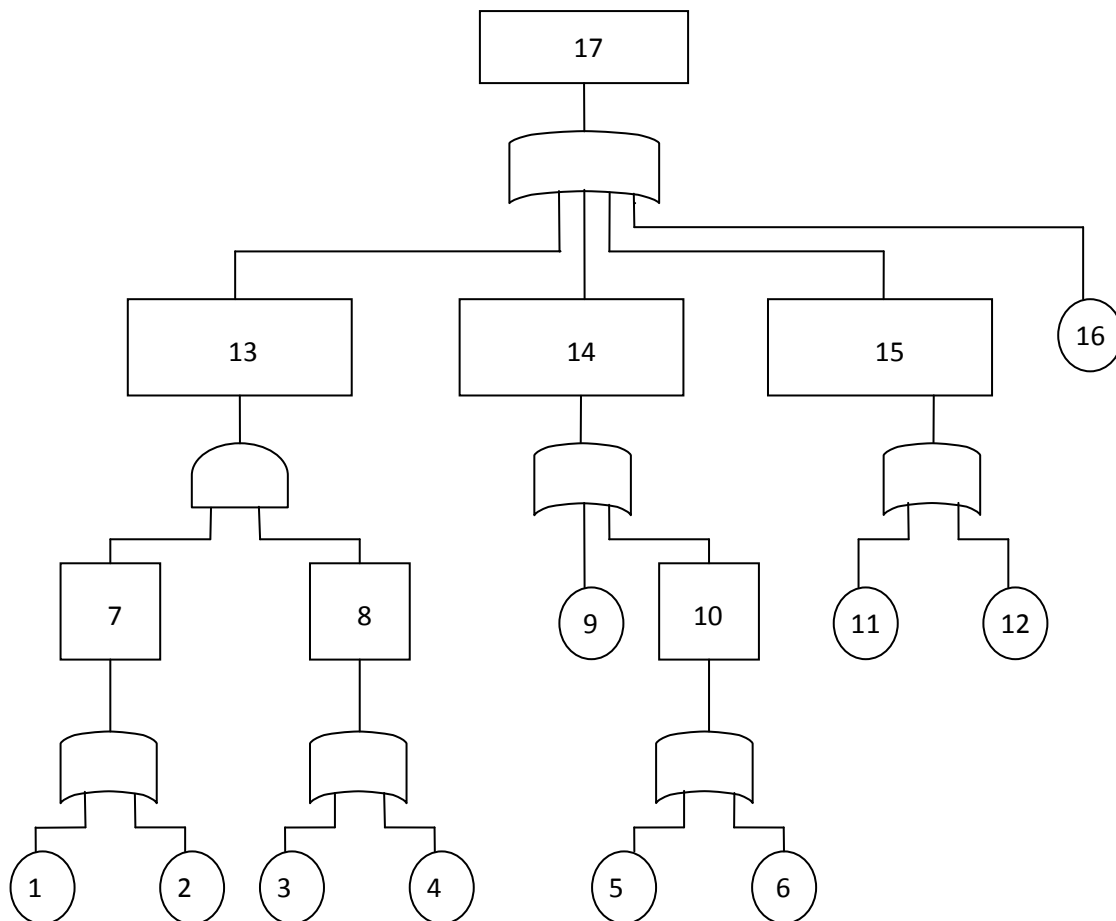


Рисунок 7.1 - Дерево причин и опасностей

Выводы по разделу семь

При выполнении всех требований по технике безопасности эксплуатация буровой установки (и в частности, буровой лебедки), обслуживание и ремонт ее электрооборудования не представляют опасности для здоровья работающих и их трудовой деятельности.

С экологической точки зрения буровая установка представляет опасность для окружающей среды, особенно при возникновении выбросов.

Главный путь борьбы с аварийностью – это максимальная автоматизация всех производственных процессов, особенно процессов устранения аварий. Необходимо разрабатывать и внедрять системы для автоматического обнаружения ситуаций, угрожающих выбросом при бурении нефтяных и газовых скважин и для автоматического глушения скважин.

При возникновении пожара созданы все условия для его успешной ликвидации. Успех тушения начавшегося пожара зависит от опытности и квалификации персонала буровой установки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе разработан электропривод буровой лебедки грузоподъемностью 1700 кН (175 т). Также рассмотрены вопросы разработки системы управления электроприводом, систем технологической автоматизации, экономичность и технологичность проекта. Кроме того создана подробная математическая модель электропривода буровой лебедки с ее реализацией в среде программного продукта Simulink, а также программа для расчета нагрузочных диаграмм и тахограмм электропривода, написанная в пакете Mathcad.

Преимуществами данного проекта по сравнению с большинством существующих сейчас буровых лебедок являются:

- преимущества цифрового привода перед аналоговым - более высокая точность поддержания скорости, особенно при использовании импульсного тахогенератора, возможность самонастройки, более высокая надежность, возможность использования современных средств управления (ПЛК), что позволяет создавать гибкие системы, параметры которых изменяются в зависимости от условий эксплуатации, высокая степень самодиагностики привода;

- за счет использования рекуперативного торможения снизилось энергопотребление.

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		101

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Беркович, М.Я. Технология бурения нефтяных и газовых скважин / М.Я. Беркович. – М.: Недра, 1969. – 408 с.
- 2 Моцохейн, Б.И. Электропривод буровых лебедок / Б.И. Моцохейн, Б.М. Парфенов. – М.: Недра, 1978. – 304 с.
- 3 Проектирование электроприводов: справочник / А.М. Вейнгер, В.В. Караман, Ю.С. Тартаковский, В.П. Чудновский, под ред. А.М. Вейнгера. – Свердловск: Средне-Уральское книжное изд-во, 1980. – 160 с.
- 4 Терехов, В.М. Системы управления электроприводов: учебник / В.М. Терехов, О.Н. Осипов. – М.: Академия, 2008. – 304 с.
- 5 Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера. – М.: Энергоиздат, 1982. – 416 с.
- 6 Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
- 7 Андреев, А.Ф. Основы экономики и организации нефтегазового производства: учебное пособие / А.Ф. Андреев, Е.В. Бурькина, А.А. Пельменёва, Е.П. Самохвалова. – М.: Академия, 2014. – 320 с.
- 8 Карпеев, Ю.С. Охрана труда в нефтяной и газовой промышленности. Вопросы и ответы: справочник / Ю.С. Карпеев. – М.: Недра, 1991. – 399 с.

					13.03.02.2017.081.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		102