

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Дополнительный электропривод подъемной лебедки буровой установки БУ 4500

УДК 62-83:621.864:622.242.2-8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА2	Шакаров Шухрат Беркин угли		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2018 г.

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

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

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА2	Шакарову Шухрату Беркин угли

Тема работы:

Дополнительный электропривод подъемной лебедки буровой установки БУ 4500

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2018г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; синтез и анализ линеаризованной системы автоматического управления регулируемого электропривода; синтез и анализ нелинейной САУ РЭП; принципиальная электрическая схема, защита и сигнализация; социальная ответственность проекта; Финансовый менеджмент; заключение.

Перечень графического материала	1. схема кинематическая; 2. - схема электрическая функциональная; 3. - схема электрическая структурная; 4. - схемы электрические принципиальные; 5. - демонстрационный лист; 6. - технико-экономические показатели;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпунов Д.Ю	к.т.н.		05.04.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА2	Шакаров Шухрат Беркин угли		05.04.2018г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит пояснительную записку, включающую 98 страниц, 50 рисунков, 17 таблиц, 24 источник.

БУРОВАЯ УСТАНОВКА, ЛЕБЕДКА, ЭЛЕКТРОПРИВОД, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ, ОПТИМИЗАЦИЯ, СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ.

Объектом исследования является дополнительный электропривод подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ, предназначенный для подъема обсадных труб и колон и бурения.

Цель работы - разработка и исследование дополнительного электропривода (ЭП) подъемной лебедки буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ.

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	8
2. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ	10
2.1. Кинематическая схема механизма	10
2.2 Выбор электродвигателя, расчет параметров	12
2.3. Механическая система дополнительного электропривода подъемной лебедки	15
2.4 Выбор тиристорного преобразователя, расчет параметров	21
Необходимое значение полного сопротивления обмотки фазы реактора	22
2.5 Определение параметров тиристорного преобразователя	23
2.6 Расчет параметров якорной цепи привода	24
2.7 Определение области допустимой работы дополнительного электропривода подъемной лебедки	25
2.8 Структурная схема силового канала дополнительного электропривода подъемной лебедки	27
3. ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА БУРОВОЙ ЛЕБЕДКИ	30
3.1 Функциональная схема дополнительного электропривода буровой лебедки (электропривод РПД)	30
3.2 Структурная схема САУ электропривода РПД	32
3.3 Оптимизация контура тока якоря	33
3.4. Оптимизация контура скорости	37
3.5. Оптимизация контура положения	41
4. ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА БУРОВОЙ ЛЕБЕДКИ	45

4.1 Основные нелинейности САУ дополнительного электропривода буровой лебедки	45
4.2 Структурная схема нелинейной САУ дополнительного электропривода буровой лебедки	45
4.3. Имитационная модель нелинейной САУ дополнительного электропривода буровой лебедки	47
4.4. Исследование САУ дополнительного электропривода буровой лебедки на имитационной модели	58
4.4.1. Исследование САУ дополнительного электропривода буровой лебедки при спуско-подъемных операциях	58
4.4.2. Исследование САУ дополнительного электропривода буровой лебедки в режиме подачи долота при бурении	62
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	71
5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	72
5.1 Структура пусконаладочных работ	73
5.2 Распределение объёма и времени выполнения ПНР	73
5.3 Выбор состава и численности бригады для проведения ПНР	74
5.4 Определение сметной стоимости пусконаладочных работ	79
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	84
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	86
6.1 Анализ опасных и вредных факторов	86
6.2 Техника безопасности	87
6.3 Производственная санитария	88
6.4 Пожарная безопасность	91
6.5 Охрана окружающей среды	92
Заключение	95
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	97

Введение

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

Основными видами привода буровых установок до недавнего времени считались: электрический (машины переменного тока), дизель-электрический и дизельный. На смену им создаются электропривода на постоянном токе с использованием тиристорных преобразователей, что позволяет унифицировать все основные узлы бурового оборудования, независимо от автономности привода.

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

- парк буровых установок укомплектован более чем наполовину морально устаревшими конструкциями;
- имеет место значительное утяжеление и удорожание бурового оборудования;
- не выпускаются серийно необходимые буровикам установки, что приводит к нецелесообразному использованию установок других классов (более тяжелых) и повышает стоимость бурения;
- большинство буровых установок выпускается в неполной комплектности (без вышек, оснований и других комплектующих устройств), что в значительной мере снижает эффективность использования оборудования;
- монтажеспособность и транспортабельность установок остается на невысоком уровне, отсутствуют эффективные средства для транспортировки оборудования.

Задачей данной работы является разработка и исследование электропривода (ЭП) регулятора подачи долота лебедки БУ 4500/270 ЭК-БМ.

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

1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Буровая установка БУ-4500/270 ЭК-БМ предназначена для бурения нефтяных и газовых скважин глубиной 4500 метров с грузоподъемностью на крюке до 270 тонн. Внешний вид БУ-4500/270 ЭК-БМ приведен на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Внешний вид БУ-4500/270 ЭК-БМ

На буровой установке БУ 4500/270 ЭК-БМ буровая лебедка состоит из двух приводов – основного и дополнительного. Дополнительный привод лебедки – привод регулятора подачи долота (РПД). Привод выполнен от двигателя постоянного тока типа МПБ 90-1000УХЛ2 мощностью 90 кВт, напряжением питания 440В, с номинальной частотой вращения 1000 об/мин.

Под подачей долота поднимают последовательное опускание верхней точки бурильной колонны при разрушении породы. Для эффективного разрушения проходимых в процессе бурения горных пород необходимо, чтобы на породоразрушающем инструменте поддерживалась определенная нагрузка. Поэтому по мере разрушения породы долото должно подаваться на забой, причем подавать его необходимо со скоростью, соответствующей темпу разрушения породы. Если темп разрушения превышает скорость подачи долота, то оно не догружается и процесс бурения протекает недостаточно эффективно. Если же подача опережает скорость разрушения горных пород,

то долото перегружается, что может привести к его поломке и оставлению шарошек на забое. Отсюда ясно, как важна равномерная подача долота на забой.

Устройства, контролирующие и регулирующие нагрузку на долото, находятся на поверхности и связаны с лебедкой и талевой системой. Между долотом и лебедкой, через которую можно регулировать скорость подачи долота, находятся длинная бурильная колонна и талевая система, обладающие большой упругостью, в результате чего скорость опускания крюка не соответствует скорости подачи долота и долото перегружается, когда его надо разгрузить, и наоборот.

Режим нагрузки на долото и скорость подачи устанавливает бурильщик, регулятор же поддерживает заданную скорость подачи или нагрузку на долото

В настоящее время буровые установки оборудуются регуляторами подачи долота с электроприводом (РПДЭ). Эти регуляторы подачи состоят из трех основных частей: измерительной — измеряющей нагрузку на крюке, усиливающей измеряемые параметры и силовой — исполняющей команду.

При установившемся режиме бурения скорость подачи долота на забой пропорциональна частоте вращения вала двигателя силового узла и должна быть равна скорости разрушения породы на забое в процессе бурения. Скорость бурения в свою очередь зависит от нагрузки на долото.

Если условия бурения изменяются, то возникает разность между заданной и фактической нагрузками на крюке, в результате чего меняется скорость подачи бурильной колонны на забой.

Для обеспечения наибольшей эффективности бурения бурильщик должен регулировать заданную нагрузку в зависимости от проходимых пород и режима бурения, для чего он поворачивает рукоятку управления до получения желаемых результатов.

2. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ

2.1. Кинематическая схема механизма

Кинематическая схема лебедки ЛБУ-900ЭТ-3 представленная на рисунке 2.1.

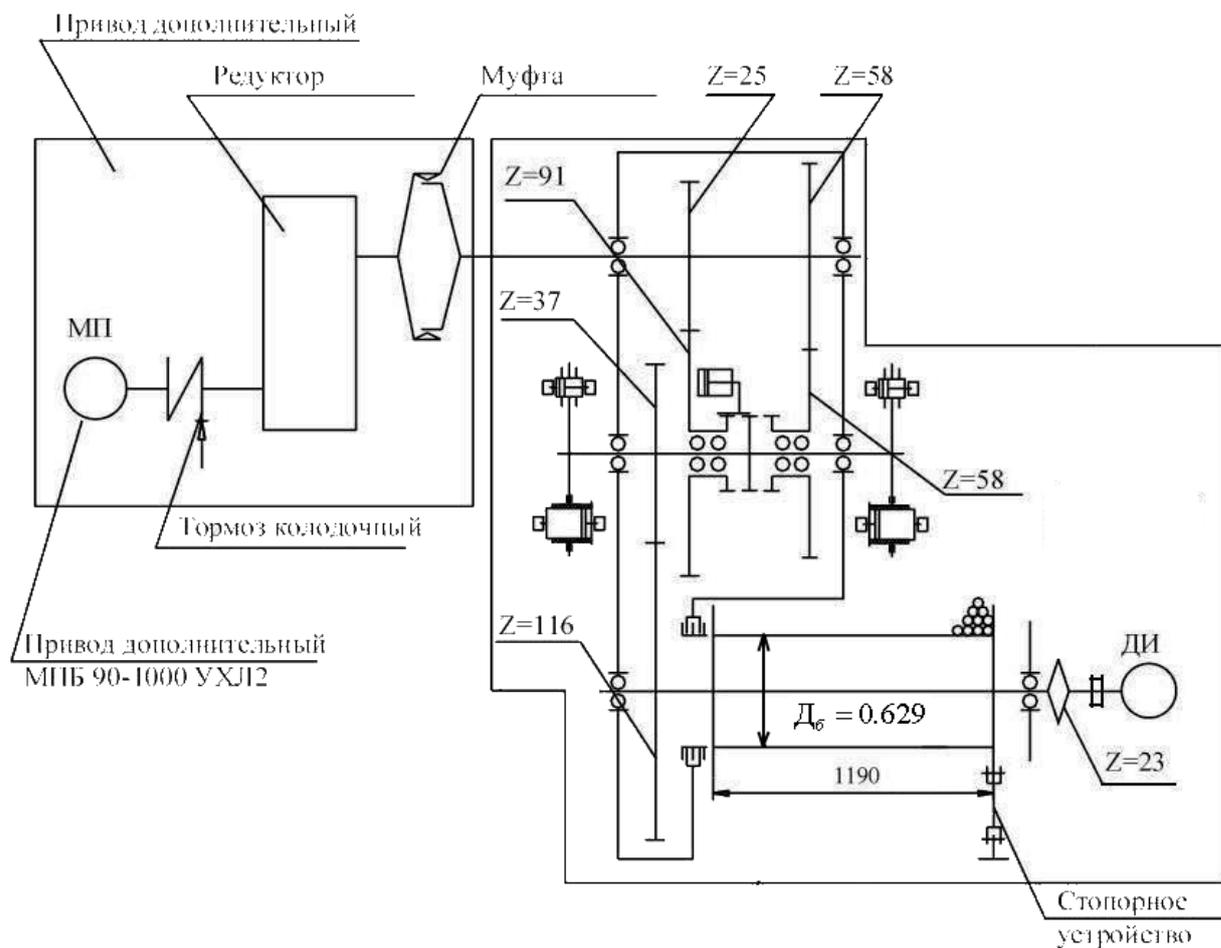


Рисунок 2.1. – Кинематическая схема лебедки ЛБУ-900ЭТ-3

На рисунке 2.1 приведены следующие обозначения:

МП – двигатель постоянного тока;

D_b – диаметр барабана;

ДИ – датчик импульсов.

Дополнительный привод лебедки – привод регулятора подачи долота (РПД) – выполнен от двигателя постоянного тока типа МПБ90-1000УХЛ2, вращающий момент которого передается на ведущий вал коробки передач

через цилиндрический редуктор и шинно-пневматическую муфту МШ500. На быстроходном валу редуктора имеется электрогидравлический колодочный тормоз ТКГ-400С приводом от асинхронного двигателя с к.з. ротором. При включении двигателя колодочного тормоза МТП тормоз растормаживается и затормаживается пружинами при его отключении.

Управление шинно-пневматической муфтой МШ-500 осуществляется с пульта бурильщика через электропневматический вентиль БА-УА. При подаче на катушку БА-УА напряжения 24В сжатый воздух подается в муфту и двигатель регулятора подачи долота РП соединяется механически с ведущим валом коробки скоростей лебедки.

В таблице 2.1 приведены параметры механизма подъема

Таблица 2.1

Наименование параметра	Величина
Допустимая нагрузка на крюке при оснастке талевой системы 5×6 , кН (тс)	2700 (270)
Наибольшая нагрузка от массы колонны бурильных труб, кН (тс)	1620 (162)
Число струн талевой системы (оснастка)	10 (5x6)
Диаметр талевого каната, мм	32
Диаметр подъема барабана лебедки, мм при спуско-подъемных операциях, при изменяющейся высоте ($0 \div 27,5$) м	$0,786 \div 0,629$
Передача дополнительного привода от двигателя до барабана - редуктора - "быстрая" передача - "тихая" передача	16 50,08 182,56
Кпд редуктора дополнительного привода	0,97

Механизм оснастки талевой системы представлен на рисунке 2.2.

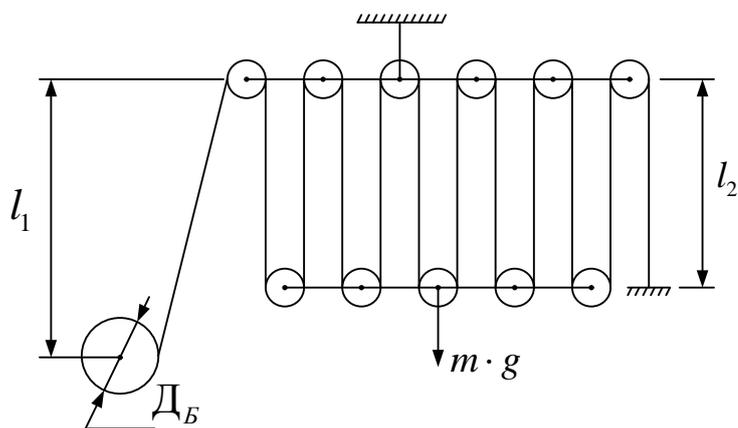


Рисунок 2.2 – Схема оснастки талевой системы

2.2 Выбор электродвигателя, расчет параметров

Электродвигатель МПБ90-1000УХЛ2.

Паспортные данные электродвигателя сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

Наименование параметра	Обозначение	Величина
Номинальная мощность, кВт	$P_{двн}$	90
Номинальное напряжение, В	$U_{двн}$	440
Номинальная скорость вращения, об/мин	$n_{двн}$	1000
Номинальный ток якоря, А	I_n	225
Максимально допустимый ток перегрузки двигателя, А	$I_{двмакс}$	$1,6I_n$
Число пар полюсов	$2p$	2
Число витков обмотки якоря на полюс		38,75
Число параллельных ветвей обмотки якоря		2
Число витков обмотки возбуждения на полюс	W_B	431
Сопротивление обмотки якоря при 15°C, Ом	$R_{оя}$	0,0445
Сопротивление добавочных полюсов при 15°C, Ом	$R_{дп}$	0,0211

Сопротивление обмотки возбуждения при 15°C, Ом	$R_{об}$	8,2
Номинальный ток возбуждения, А	$I_{вн}$	12,7
Номинальный поток главного полюса, Вб	$\Phi_{двн}$	0,0406*1,18
Номинальный вращающий момент, Н·м	M_n	860
Момент инерции якоря, кг·м ²	$J_{дв}$	1,6
КПД двигателя, %	η	90,5

Кривая намагничивания приведена на рисунке 2.3.

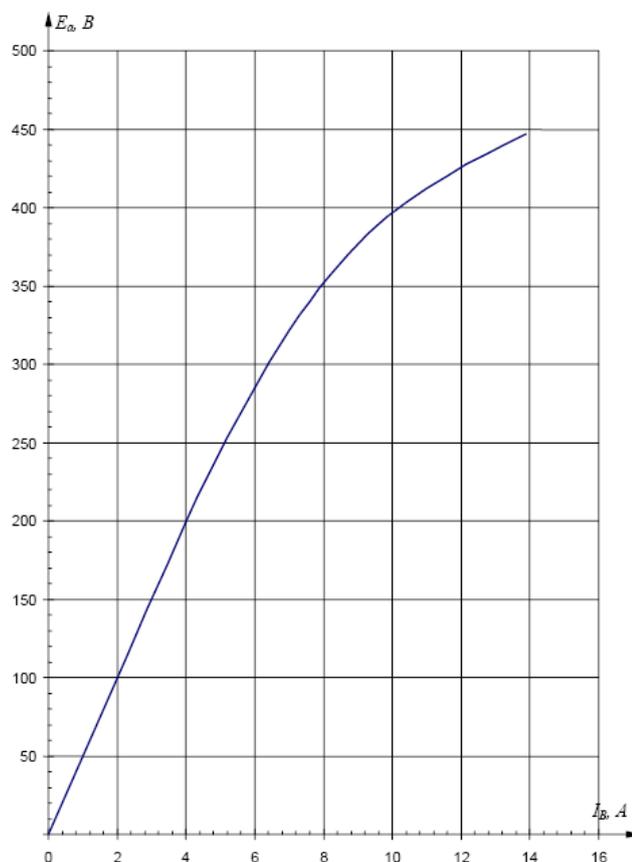


Рисунок 2.3. – Кривая намагничивания двигателя МПБ 90-1000УХЛ2

Расчетные параметры электродвигателя:

Номинальная угловая скорость вращения

$$\omega_{дв.н} = \frac{\pi}{30} \cdot n_{дв.н} = \frac{3.14}{30} \cdot 1000 = 104,72 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Сопротивление двигателя в горячем состоянии

$$R_{\text{дв}} = k_t \cdot (R_{\text{оя}+15^\circ\text{C}} + R_{\text{дп}+15^\circ\text{C}}) \text{ Ом},$$

где $k_t = (1 + \alpha_i \cdot \tau)$ - коэффициент, учитывающий зависимость сопротивления обмоток от температуры;

принимая $\tau = 75^\circ\text{C}$ - температура перегрева обмоток двигателя;

$$\Delta\alpha_m = 0,004 \frac{1}{^\circ\text{C}};$$

тогда

$$R_{\text{дв гор}} = 1,3 \cdot (0,0445 + 0,0211) = 0,08528 \text{ Ом}$$

Индуктивность двигателя

$$L_{\text{дв}} \cong \gamma \cdot \frac{U_{\text{дв.н}}}{p \cdot \omega_{\text{дв.н}} \cdot I_{\text{дв.н}}} = 0,15 \cdot \frac{440}{2 \cdot 104,72 \cdot 225} = 0,0014 \text{ Гн},$$

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

Коэффициент ЭДС $\left(\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}} \right)$ и электромагнитного момента $\left(\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}} \right)$ при

номинальном потоке возбуждения

$$c = \frac{U_{\text{дв.н}} - I_{\text{дв.н}} \cdot R_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{440 - 225 \cdot 0,08528}{104,72} = 4,018.$$

Электромагнитный момент, соответствующий номинальному току

$$M_{\text{эм}} = I_{\text{дв.н}} \cdot c = 225 \cdot 4,018 = 904,05 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент трения на валу

$$M_{\text{с дв}} = M_{\text{эм}} - M_{\text{дв.н}} = 904,05 - 860 = 44,05 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимально допустимый ток

$$I_{\text{дв.макс}} = 1,6 \cdot I_{\text{дв.н}} = 1,6 \cdot 225 = 360 \text{ А}.$$

2.3. Механическая система дополнительного электропривода подъемной лебедки

Расчетная схема одномассовой механической системы представлена на рисунке 2.4, где приняты следующие обозначения:

J_1 – момент инерции двигателя и механизма;

$M_{\text{дв.эм}}$ – электромагнитный момент двигателя;

M_c – момент сопротивления типа сухого трения на валу;

ω_1 – угловая скорость вращения электропривода.

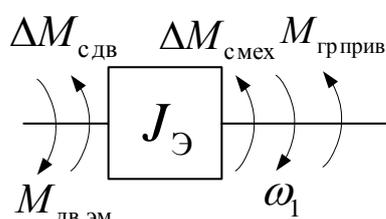


Рисунок 2.4 – Расчетная схема механической одномассовой системы
дополнительного электропривода лебедки

Параметры элементов механической одномассовой системы:

Момент инерции двигателя

$$J_{\text{дв}} = 1,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции механизма

$$J_{\text{э.мех}} = 0,0957 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции поднимаемых масс, приведенный к валу двигателя, определим по выражению

$$J_m = m \cdot \left(\frac{D_6}{2} \right)^2 \cdot \frac{1}{i_{\text{тп}}^2} \cdot \frac{1}{i_{\text{пол}}^2}, \text{кг} \cdot \text{м}^2.$$

где m – масса поднимаемого груза, кг;

D_6 – диаметр барабана лебедки, $D_6 = 0,786$ м;

$i_{\text{тп}}$ – результирующее передаточное число механизма лебедки;

$i_{\text{пол}}$ – коэффициент полиспаста, $i_{\text{пол}} = 10$.

Момент инерции поднимаемых масс на первой передаче $i_{тп} = 182,56$
 при поднимаемой массе $m = (123,204 \div 258,204) \cdot 10^3$ кг

$$J_m = (123,204 \div 258,204) \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,786}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{182,56^2} \cdot \frac{1}{10^2} = (0,0057 \div 0,01197) \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Собственный момент сопротивления на валу электродвигателя

$$\Delta M_{с.дв} = C \cdot I_{двн} - M_{двн} = 904,05 - 860 = 44,05 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Постоянные потери в передаточном механизме лебедки

$$\Delta M_{мех} = a \cdot M_{перн} = 0,1024 \cdot 1000 = 102,4 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $M_{перн} = 1000 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – номинальный передаваемый момент механизма;

$$a = b = \frac{1 - \eta_{пер.осн} \cdot \eta_{пер.доп} \cdot \eta_{пол}}{2 \cdot \eta_{пер.осн} \cdot \eta_{пер.доп} \cdot \eta_{пол}} = \frac{1 - 0,914 \cdot 0,97 \cdot 0,94}{2 \cdot 0,914 \cdot 0,97 \cdot 0,94} = 0,1024$$

a – коэффициент постоянных потерь в передаче;

b – коэффициент переменных потерь в передаче;

КПД передаточного механизма $\eta_{ред.осн} = 0,914$,

КПД талевого оснастки $\eta_{пол} = 0,94$

КПД редуктора дополнительного привода $\eta_{ред.доп} = 0,97$;

Момент, развиваемый грузом на передаче $i_{тп} = 182,56$

$$M_{гр.прив} = \frac{m \cdot q \cdot D_{б}}{2i_{ред} \cdot i_{пол}} = \frac{(123,204 \div 258,204) \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 \cdot 0,786}{2 \cdot 182,56 \cdot 10} = (260,184 \div 545,279) \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Эквивалентный момент инерции на «тихой» передаче

$$J_{э} = J_{дв} + J_{мех} + J_m = 1,6 + 0,0957 + (0,0057 \div 0,01197) = (1,7 \div 1,71) \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент сопротивления реактивного характера на оси эквивалентной массы

$$\Delta M_c = \Delta M_{с.дв} + \Delta M_{мех} = 44,05 + 102,4 = 146,45 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Электромеханическая постоянная времени привода наиболее существенно изменяется при работе на второй передаче и имеет: минимальное значение

$$T_{\text{мин}} = \frac{J_{\text{эмин}} \cdot R_{\text{яц}}}{C^2} = \frac{1,7014 \cdot 0,155}{4,018^2} = 0,0163 \text{ с}$$

и максимальное значение

$$T_{\text{макс}} = \frac{J_{\text{эмакс}} \cdot R_{\text{яц}}}{C^2} = \frac{1,71 \cdot 0,155}{4,018^2} = 0,0164 \text{ с.}$$

Структурная схема одномассовой механической системы приведена на рисунке 2.5.

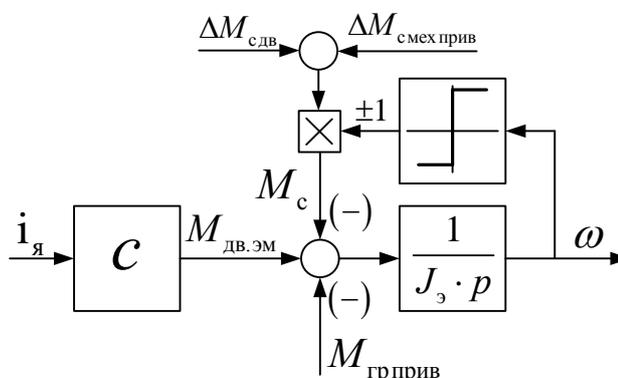


Рисунок 2.5 – Структурная схема одномассовой механической системы

Расчетная схема механической системы дополнительного электропривода лебедки представляет собой двухмассовую систему, представленную на рисунке 2.6, где приняты следующие обозначения:

J_1 – момент инерции двигателя и механизма;

J_2 – момент инерции поднимаемых масс;

$M_{\text{дв.эм}}$ – электромагнитный момент двигателя;

M_c – момент сопротивления типа сухого трения на валу первой массы;

$M_{\text{гр}}$ – момент нагрузки, развиваемый грузом, активный по характеру;

$C_{\phi 12}$ – эквивалентная угловая жесткость;

$b_{\text{в12}}$ – эквивалентный коэффициент внутреннего демпфирования.

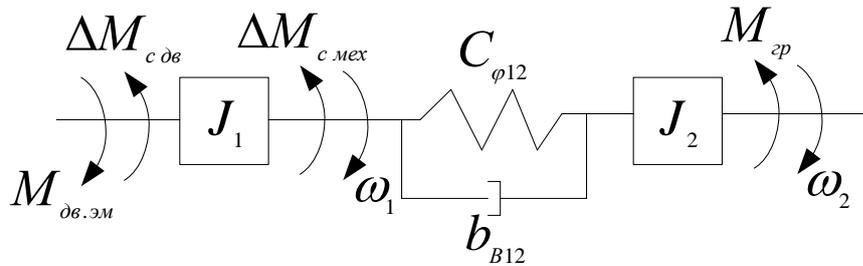


Рисунок 2.6 – Расчетная схема двухмассовой механической системы
дополнительного электропривода подъемной лебедки

Линейная жесткость подъемного каната для компоновочной
схемы с $i_{\text{пол}} = 10$ (см. рисунок 2.2) определяется по выражению

$$C_l = i_{\text{пол}} \cdot \frac{C_{\text{к}}}{l} = 10 \cdot \frac{50,25 \cdot 10^6}{(10 \div 35)} = (50,25 \cdot 10^6 \div 14,36 \cdot 10^6) \quad \text{Н/м}$$

- линейная жесткость участка длиной $l = (10-35)$ м

$$C_{\text{к}} = E_{\text{к}} \cdot S_{\text{к}} = 1,25 \cdot 10^{11} \cdot 4,02 \cdot 10^{-4} = 50,25 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

- жесткость одного погонного метра каната;

$$E_{\text{к}} = (1,1 \div 1,4) \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$$

- модуль продольной упругости для стального каната, принимаем

$$E_{\text{к}} = 1,25 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2;$$

$$S_{\text{к}} = 0,5 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{к}}^2}{4} = 0,5 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,032^2}{4} = 4,02 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

- площадь сечения проволок.

При изменении высоты подъема эквивалентная жесткость канатов
изменяется в малых пределах, так как при этом будет изменяться только длина
параллельно включенных канатов в талевой системе.

Параметры двухмассовой механической системы

Структурная схема двухмассовой механической системы (ДМС)
привода подъема приведена на рисунке 2.8.

Момент инерции первой массы

$$J_1 = J_{\text{дв}} + J_{\text{мех}} = 1,6 + 0,0957 = 1,6957 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент сопротивления на валу первой массы

$$\Delta M_c = \Delta M_{сдв} + \Delta M_{мех} = 44,05 + 102,4 = 146,45 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент инерции второй массы и соответствующий грузовой момент на ее оси при работе на первой передаче $i_{тп} = 182,56$

$$J_2 = (0,0057 \div 0,01197) \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$M_{гр.прив} = (260,184 \div 545,279) \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При работе на «тихой» передаче $i_{ред} = 182,56$ значение углового коэффициента жесткости ДМС изменяется в пределах:

$$C_{\phi 12\text{верх}} = C_{\text{верх}} \cdot \frac{D_{б\text{макс}}^2}{4 \cdot i_{ред}^2} = 50,25 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,786^2}{4 \cdot 182,56^2} = 232,868 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$$

$$C_{\phi 12\text{нижн}} = C_{\text{нижн}} \cdot \frac{D_{б\text{мин}}^2}{4 \cdot i_{ред}^2} = 14,36 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,629^2}{4 \cdot 182,56^2} = 42,617 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$$

Минимальное значение угловой частоты резонансных колебаний ДМС будет иметь место в нижнем положении крюка-блока с максимальной массой груза.

Максимальная нагрузка, нижнее положение.

$$\omega_{12\text{нижн}}^{(2)} = \sqrt{\frac{C_{\phi 12\text{нижн}} \cdot (J_1 + J_{2\text{макс}})}{J_1 \cdot J_{2\text{макс}}}} = \sqrt{\frac{42,617 \cdot (1,6957 + 0,01197)}{1,6957 \cdot 0,01197}} = 58,817 \text{ рад/с}.$$

Нагрузка отсутствует, нижнее положение.

$$\omega_{12\text{нижн}}^{(2)} = \sqrt{\frac{C_{\phi 12\text{нижн}} \cdot (J_1 + J_{2\text{мин}})}{J_1 \cdot J_{2\text{мин}}}} = \sqrt{\frac{42,617 \cdot (1,6957 + 0,0057)}{1,6957 \cdot 0,0057}} = 85,072 \text{ рад/с}.$$

Максимальная нагрузка, верхнее положение.

$$\omega_{12\text{верхн}}^{(2)} = \sqrt{\frac{C_{\phi 12\text{верхн}} \cdot (J_1 + J_{2\text{макс}})}{J_1 \cdot J_{2\text{макс}}}} = \sqrt{\frac{232,868 \cdot (1,6957 + 0,01197)}{1,6957 \cdot 0,01197}} = 137,489 \text{ рад/с}.$$

Нагрузка отсутствует, верхнее положение.

$$\omega_{12\text{верхн}}^{(2)} = \sqrt{\frac{C_{\phi 12\text{верхн}} \cdot (J_1 + J_{2\text{мин}})}{J_1 \cdot J_{2\text{мин}}}} = \sqrt{\frac{232,868 \cdot (1,6957 + 0,0057)}{1,6957 \cdot 0,0057}} = 198,861 \text{ рад/с}.$$

Коэффициент внутреннего демпфирования ДМС ориентировочно может быть определен по выражению

$$b_{в12\text{нижн}} = \frac{\lambda_{вт} \cdot C_{\phi 12\text{нижн}}}{\pi \cdot \omega_{12\text{нижн}}},$$

где $\lambda_{\text{вТ}} = 0,1 \div 0,2$ – декремент затухания механических колебаний под действием внутренних сил вязкого трения.

Максимальная нагрузка, нижнее положение.

$$b_{\text{в12нижн}} = \frac{(0,1 \div 0,2) \cdot 42,617}{3,14 \cdot 58,817} = (0,023 \div 0,046)$$

Нагрузка отсутствует, нижнее положение.

$$b_{\text{в12нижн}} = \frac{(0,1 \div 0,2) \cdot 42,617}{3,14 \cdot 85,072} = (0,016 \div 0,032)$$

Максимальная нагрузка, верхнее положение.

$$b_{\text{в12верхн}} = \frac{(0,1 \div 0,2) \cdot 232,868}{3,14 \cdot 137,489} = (0,054 \div 0,1079)$$

Нагрузка отсутствует, верхнее положение.

$$b_{\text{в12верхн}} = \frac{(0,1 \div 0,2) \cdot 232,868}{3,14 \cdot 198,861} = (0,037 \div 0,0746)$$

Зависимость параметров ДМС привода подъема от массы груза представлена на рисунке 2.7.

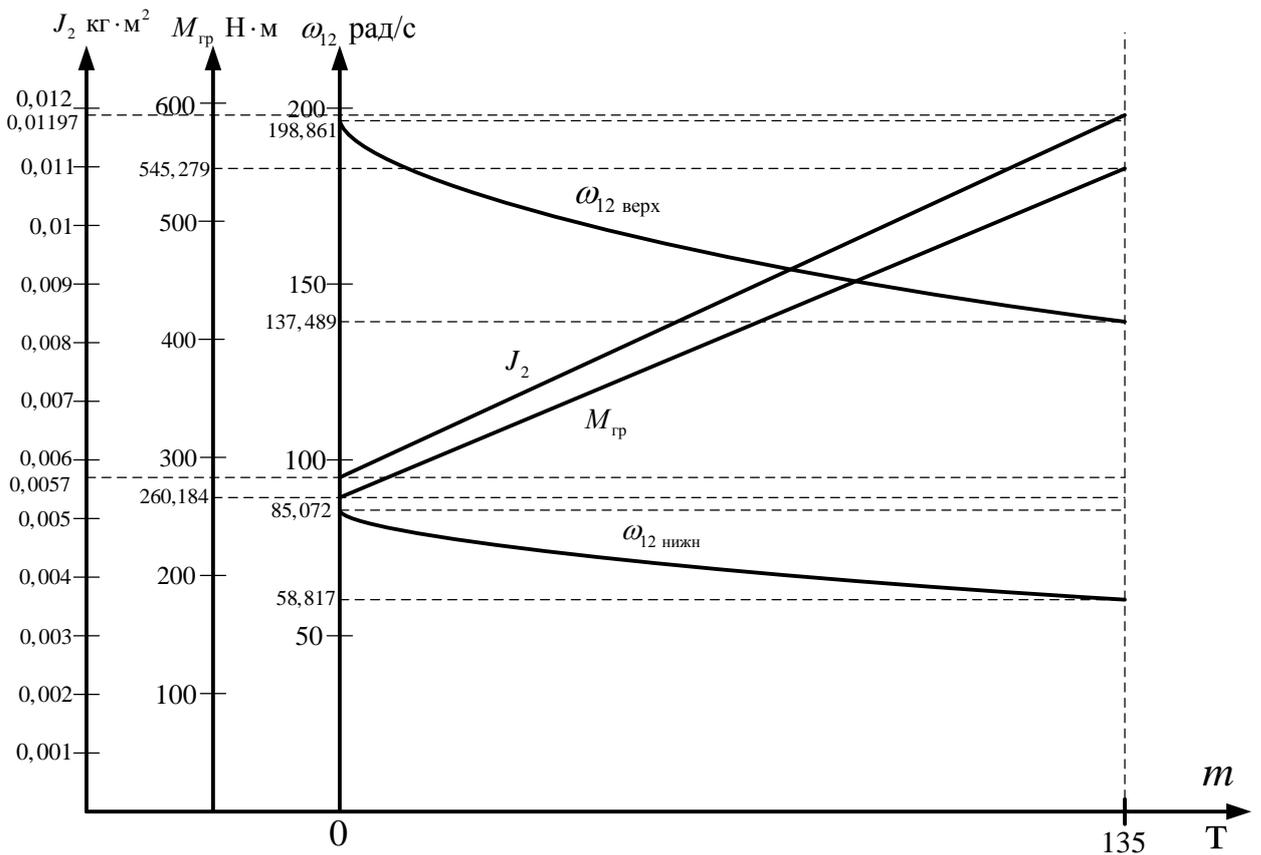


Рисунок 2.7 - Зависимость параметров ДМС привода подъема от массы груза

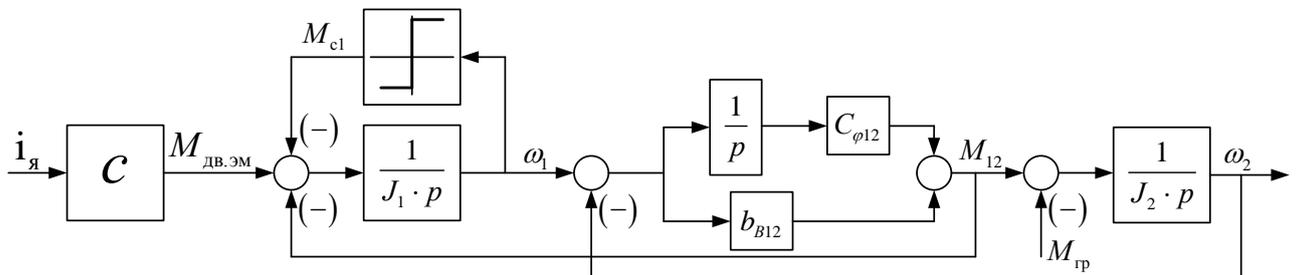


Рисунок 2.8 – Структурная схема механической системы дополнительного привода лебедки

2.4 Выбор тиристорного преобразователя, расчет параметров

Условиями выбора преобразователя являются:

$$U_{дн} \geq U_{дв. н}; I_{дн} \geq I_{дв. н}; I_{дмакс} \geq I_{дв. макс}.$$

Параметры двигателя:

$$U_{дв. н} = 440 \text{ В}; I_{дв. н} = 225 \text{ А}; I_{дв. макс} = 360 \text{ А}.$$

Технические характеристики преобразователя:

- преобразователь реверсивный;
- управление преобразователем отдельное;
- трёхфазная мостовая схема выпрямления;
- сглаживающий реактор в цепи якоря;
- кратковременная перегрузка (не более 5 с);
- коэффициент передачи управляющего органа на входе СИФУ $k_{yo} = 1$;
- Размах опорного напряжения $2 \cdot U_{оп.макс} = 10 \text{ В}$;
- $m_b = 6$;
- $U_{дн} = 460 \text{ В}$;
- $I_{дн} = 320 \text{ А}$.
- $I_{дмакс} = 2,25 \cdot I_{дн} = 720 \text{ А}$ - в течение 10 с.

Выбор трехфазного токоограничивающего реактора

Необходимое значение полного сопротивления обмотки фазы реактора

$$Z_{\text{фрасч}} = \frac{U_{\text{кз}} \% \cdot U_{\text{сф}}}{100 \cdot I_{\text{фрасч}}} = \frac{5,5 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 192,543} = 0,0626 \text{ Ом},$$

где $I_{\text{фрасч}} = k_{i2\phi} \cdot k_i \cdot I_{\text{двн}} = 0,815 \cdot 1,05 \cdot 225 = 192,543 \text{ А}$;

$U_{\text{сф}}$ - фазное напряжение питающей сети, $U_{\text{сф}} = 380 \text{ В}$;

$U_{\text{кз}}$ - напряжение короткого замыкания реактора, принимаем $U_{\text{кз}} = 5,5\%$.

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

$$L_{\text{фрасч}} = \frac{X_{\text{фрасч}}}{\omega_c} = \frac{0,0626}{314} = 0,199 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Выбираем трехфазный токоограничивающий реактор типа РТСТ-265-0,156У3 с паспортными данными:

$$U_{\text{л}} = 410 \text{ В}; I_{\text{фн}} = 265 \text{ А}; R_{\text{рф}} = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}; L_{\text{р}} = 0,156 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

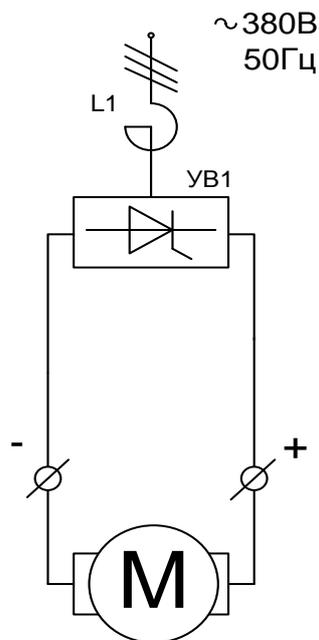


Рисунок 2.9. – Схема электрическая силовой цепи дополнительного привода лебедки

Индуктивное сопротивление обмотки фазы реактора

$$X_{\text{фрасч}} = \omega_c \cdot L_p = 314 \cdot 0,000156 = 48,984 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление от коммутации анодных токов

$$R_k = \frac{m_v \cdot X_{\text{фрасч}}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 48,984 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14} = 0,0468 \text{ Ом.}$$

2.5 Определение параметров тиристорного преобразователя

Средневыпрямленная ЭДС при угле управления $\alpha = 0$ (ЭДС холостого хода)

$$E_{d0} = k_{u2л} \cdot U_{2л} = 1,35 \cdot 380 = 513 \text{ В.}$$

Параметры силовой цепи преобразователя:

– активное сопротивление преобразователя:

$$R_{\text{тп}} = 2 \cdot R_{\text{рф}} + R_k = 2 \cdot 7,2 \cdot 10^{-3} + 46,8 \cdot 10^{-3} = 61,2 \cdot 10^{-3} \text{ Ом;}$$

– индуктивность преобразователя:

$$L_{\text{тп}} = 2 \cdot L_{\text{рф}} = 2 \cdot 0,156 \cdot 10^{-3} = 0,312 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Углы управления:

– минимальный $\alpha_{\text{мин}} \geq (5 \div 10)^\circ$,

– максимальный $\alpha_{\text{макс}} \leq 160^\circ$.

Максимальное значение коэффициента усиления тиристорного преобразователя

$$k_{\text{тп макс}} = \frac{\pi \cdot k_{\text{yo}} \cdot E_{d0}}{2 \cdot U_{\text{оп.макс}}} = \frac{3,14 \cdot 1 \cdot 513}{10} = 161,082.$$

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

$$T_{\text{тп}} = \frac{0,5}{m_{\text{в}} \cdot f_{\text{с}}} = \frac{0,5}{6 \cdot 50} = 0,00167 \text{ с.}$$

2.6 Расчет параметров якорной цепи привода

Сопrotивление якорной цепи с учетом параллельного включения двух выпрямительных мостов

$$\begin{aligned} R_{\text{яц}} &= R_{\text{тп}} + R_{\text{двгор}} + 0,1 \cdot R_{\text{двгор}} = \\ &= 61,2 \cdot 10^{-3} + 85,28 \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot 85,28 \cdot 10^{-3} = 155,008 \cdot 10^{-3} \text{ Ом,} \end{aligned}$$

Индуктивность якорной цепи

$$L_{\text{яц}} = L_{\text{дв}} + L_{\text{тп}} = 1,4 \cdot 10^{-3} + 0,312 \cdot 10^{-3} = 1,712 \cdot 10^{-3} \text{ Гн,}$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи

$$T_{\text{яц}} = \frac{L_{\text{яц}}}{R_{\text{яц}}} = \frac{1,712 \cdot 10^{-3}}{155,008 \cdot 10^{-3}} = 11,0446 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Максимальное значение граничного тока зоны прерывистых токов для якорной цепи

$$I_{\text{дгрмакс}} = \frac{K_{\text{грмакс}} \cdot E_{d0}}{\omega_{\text{с}} \cdot L_{\text{яц}}} = \frac{0,093 \cdot 513}{314 \cdot 1,712 \cdot 10^{-3}} = 88,7497 \text{ А,}$$

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

В относительных единицах

$$\frac{I_{\text{дгрмакс}}}{I_{\text{двн}}} = \frac{88,7497}{225} = 0,394.$$

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

$$P(1)\% = \frac{E_{d(1)\max} \cdot 100}{m_B \cdot \omega_c \cdot I_{\text{двн}} \cdot L_{\text{яц}}} = \frac{87,943 \cdot 100}{6 \cdot 314 \cdot 225 \cdot 1,712 \cdot 10^{-3}} = 12,118\% ,$$

где $E_{d(1)\max} = \frac{E_{d0}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot m_B}{(m_B^2 - 1)} = \frac{513}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot 6}{(6^2 - 1)} = 87,943 \text{ В}$ – действующее значение первой гармоники выпрямленного напряжения при угле управления $\alpha = 90^\circ$.

2.7 Определение области допустимой работы дополнительного электропривода подъемной лебедки

Максимальный допустимый ток двигателя:

при $\Phi_{\text{дв}} = \Phi_{\text{двн}}$

$$I_{\text{двмакс}} = k_{\text{пер дв}} \cdot I_{\text{двн}} = 1,6 \cdot 225 = 360 \text{ А},$$

где $k_{\text{пер дв}}$ - коэффициент перегрузочной способности двигателя, $k_{\text{пер дв}} = 1,6$.

Максимальный допустимый ток преобразователя $I_{d \text{ макс}} = 720 \text{ А}$.

Принимаем при работе в первой зоне $I_{\text{эпмакс}} = 360 \text{ А}$.

Минимальный угол управления преобразователем якорной цепи при пониженном напряжении сети

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{мин}} &= \arccos \frac{c \cdot \omega_{\text{эпмакс}} + I_{\text{двн}} \cdot R_{\text{яц}}}{K_{\text{ис}} \cdot E_{d0}} = \arccos \frac{4,018 \cdot 104,72 + 225 \cdot 0,155}{0,9 \cdot 513} = \\ &= \arccos(0,986875) = 9,29333^\circ , \end{aligned}$$

принимаем $\alpha_{\text{мин}} = 10^\circ$.

Предельная электромеханическая характеристика привода рассчитывается по выражению

$$\omega(I) = \frac{1}{K \cdot \Phi_{\text{двном}}} (K_{\text{ис}} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - I_{\text{дв}} \cdot R_{\text{яц}})$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

$K_{ис} = 0,9$				
$\Phi_{дв} = 0,0406 \text{ Вб}$	$I_{дв}, \text{ А}$	0	$I_{дв н} = 225 \text{ А}$	$I_{дв макс} = 360 \text{ А}$
	$\omega_{дв}, \text{ рад/с}$	113,16 2	104,7	99,275
$K_{ис} = 1$				
$\Phi_{дв} = 0,0406 \text{ Вб}$	$I_{дв}, \text{ А}$	0	$I_{дв н} = 225 \text{ А}$	$I_{дв макс} = 360 \text{ А}$
	$\omega_{дв}, \text{ рад/с}$	125,736	117,056	111,848

По данным таблицы 2.3 построены предельные характеристики дополнительного электропривода подъемной лебедки, ограничивающие его область допустимой работы в 1 квадранте. Предельные характеристики дополнительного электропривода подъемной лебедки приведены на рисунке 2.10.

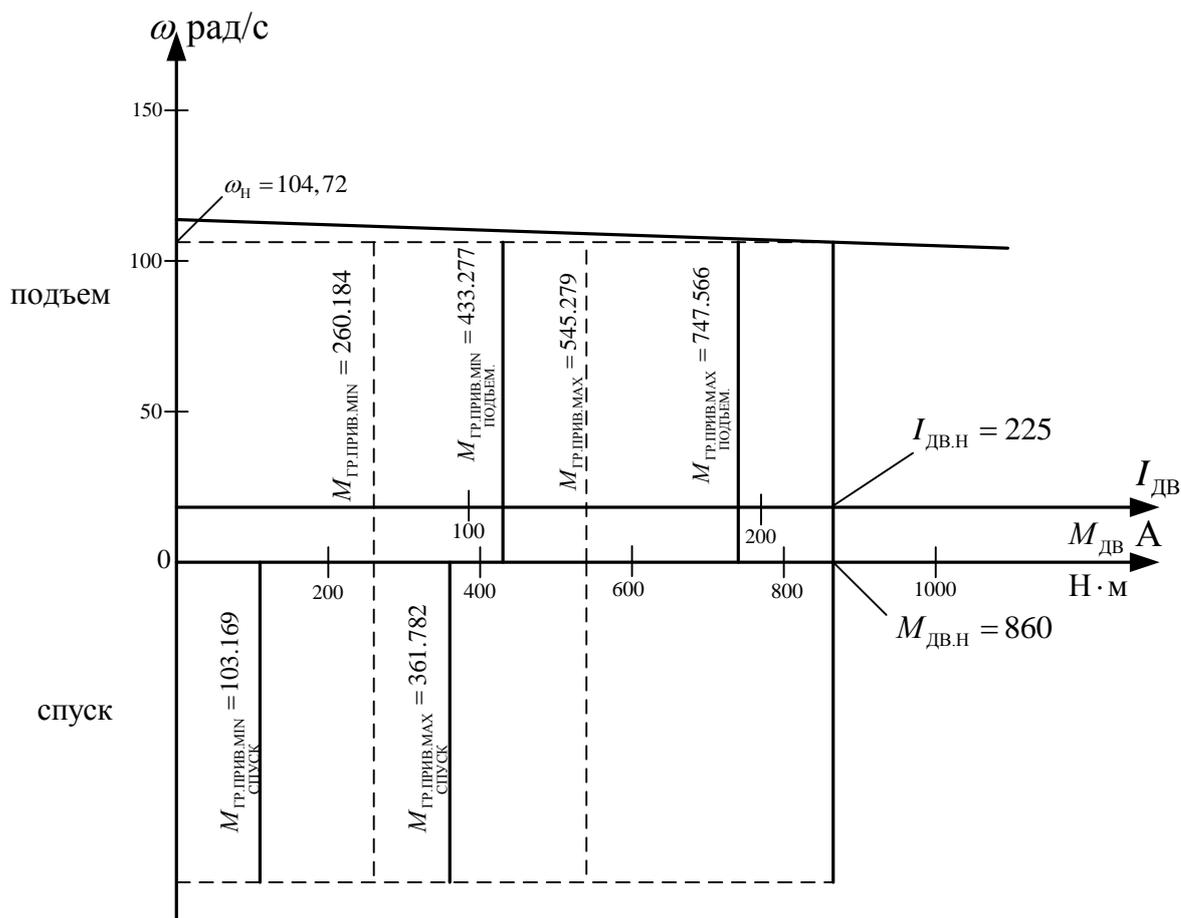


Рисунок 2.10 – Область допустимой работы дополнительного электропривода лебедки

2.8 Структурная схема силового канала дополнительного электропривода подъемной лебедки

В силовой канал электропривода входят:

- тиристорный преобразователь, выполняющий функцию электрического преобразователя;
- электродвигатель, который выполняет функцию электромеханического преобразователя;
- механическая система, которая выполняет функцию механического преобразователя.

Структурная схема силового канала регулируемого электропривода приведена на рисунке 2.12:

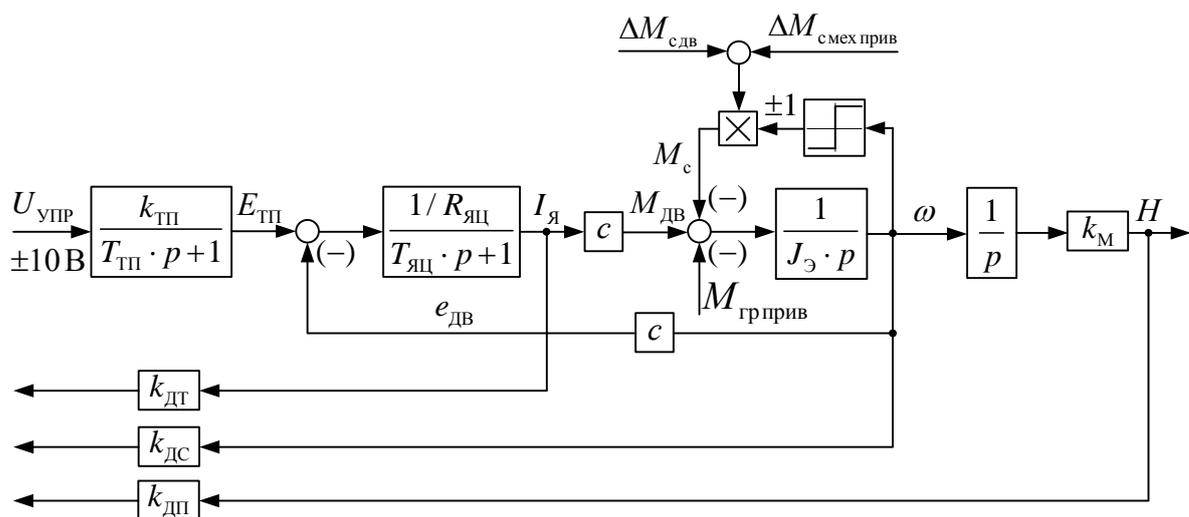


Рисунок 2.12 – Структурная схема силового канала
главного электропривода подъемной лебедки

Коэффициент передачи датчика тока якоря

$$k_{\text{дт}} = \frac{U_{\text{зт.макс}}}{I_{\text{эп.макс}}} = \frac{10}{360} = 0,02777 \text{ В/А.}$$

Коэффициент передачи датчика скорости

$$k_{\text{дс}} = \frac{U_{\text{зс.макс}}}{\omega_{\text{эп.макс}}} = \frac{10}{104,72} = 0,0955 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$$

Коэффициент передачи датчика положения

$$k_{\text{дп}} = \frac{n_{\text{дп}} \cdot i_{\text{пол}}}{\pi \cdot D_{\text{б}}} = \frac{1000 \cdot 10}{3,14 \cdot (0,629 \div 0,786)} = (5063,14 \div 4051,8) \frac{\text{дискрет}}{\text{м}},$$

где $n_{\text{дп}} = 1000$ число импульсов датчика положения на один оборот вала.

Коэффициент передачи механизма

$$k_{\text{м}} = \frac{D_{\text{б}}}{2 \cdot i_{\text{пол}} \cdot i_{\text{ред}}} = \frac{(0,629 \div 0,786)}{2 \cdot 10 \cdot 182,56} = (0,00017 \div 0,000215) \frac{\text{м}}{\text{рад}}$$

Параметры структурной схемы приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4

$U_{\text{УП}}$	В	± 10
$k_{\text{ТП}}$		161,082

3. ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА БУРОВОЙ ЛЕБЕДКИ

3.1 Функциональная схема дополнительного электропривода буровой лебедки (электропривод РПД)

Функциональная схема электропривода РПД приведена на рисунке 3.1.

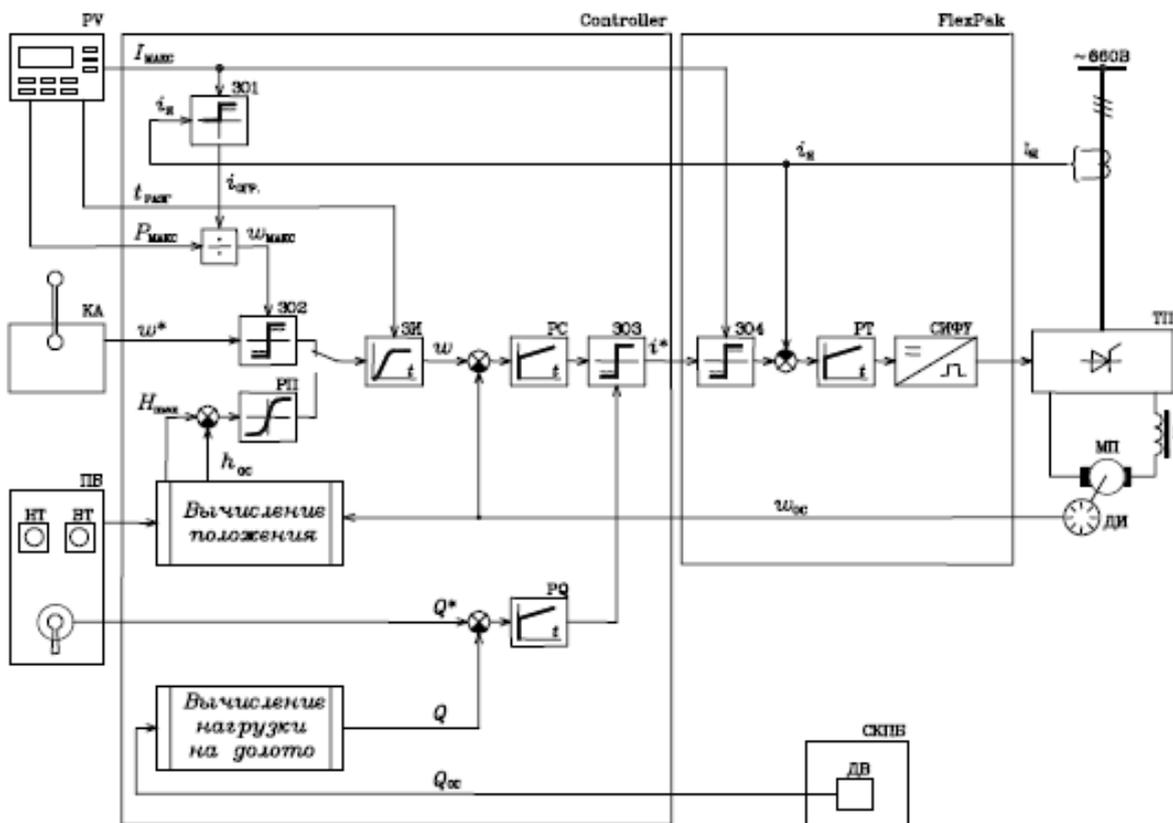


Рисунок 3.1. - Функциональная схема электропривода РПД

Основные функциональные устройства дополнительного электропривода лебедки:

- ТИ – тиристорный преобразователь;
- МП – двигатель постоянного тока;
- СИФУ – система импульсно-фазового управления;
- РТ – регулятор тока;
- РС – регулятор скорости;
- RQ – регулятор натяжения каната;
- КА – командоаппарат;
- ЗО – звено ограничения;

РП – регулятор положения;

ДВ – датчик веса;

ДИ – датчик импульсный;

ПБ – пульт бурильщика;

Блок вычисления положения;

Блок вычисления нагрузки на долото;

Электропривод РПД выполнен по системе ТП-Д постоянного тока. Тиристорный преобразователь выполнен нереверсивным. Поэтому для обеспечения спуска порожнего элеватора или подачи инструмента при легкой колонне бурильных труб предусмотрен реверс двигателя путем изменения полярности обмотки возбуждения с помощью контактора КМ. Питание обмотки возбуждения осуществляется от однофазного мостового выпрямителя, выполненного на тиристорах и встроенного в микропроцессорную систему управления FlexPak.

САР дополнительного электропривода лебедки в режиме поддержания заданной скорости подъема и спуска трехконтурная, аналогичная основной лебедки. Отличие заключается в том, что контур тока выполнен в микропроцессорной системе управления FlexPak, а контуры скорости и положения - в контроллере МПК.

В режиме регулятора подачи долота (РПД) изменяется структура САР дополнительного привода. Звено ограничения ЗОЗ выявляет наибольший сигнал с выхода регулятора скорости РС или с выхода регулятора натяжения каната (PQ). С выхода ЗОЗ сигнал задания тока поступает на вход регулятора тока РТ.

ПИ-регулятор натяжения PQ сравнивает заданное усилие на долото Q^* и фактическое усилие Q , вычисляемое контроллером, и выдает задание тока i^* на вход регулятора тока РТ. В результате привод будет работать с постоянством нагрузки на долото.

До соприкосновения долота с забоем сигнал на выходе ПИ-регулятора натяжения PQ минимальный. Поэтому сигнал с выхода регулятора скорости

РС (который больше сигнала с выхода регулятора натяжения PQ) поступает на вход регулятора тока РТ. Привод работает с постоянством скорости спуска.

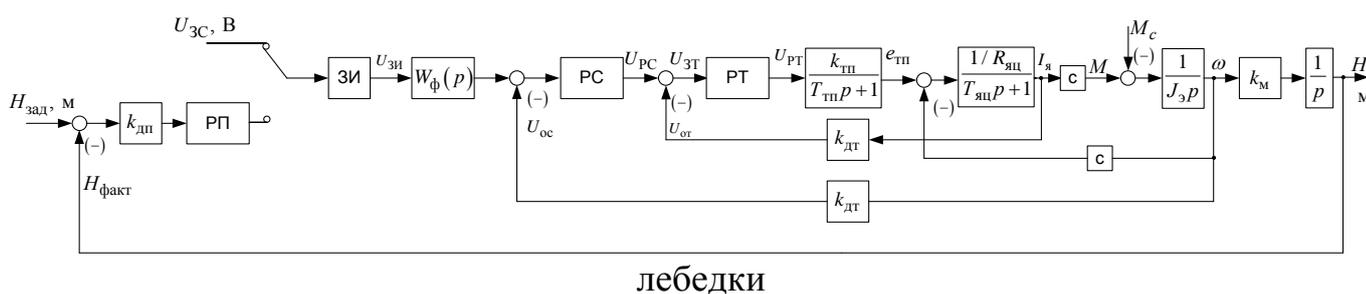
При соприкосновении долота с забоем сигнал на выходе регулятора натяжения PQ возрастет. Если сигнал с выхода регулятора натяжения PQ будет превышать сигнал с выхода регулятора скорости РС (задана малая скорость спуска), то привод будет работать с постоянством натяжения в мертвом конце каната (постоянством веса).

В общем случае, если при бурении задана большая скорость спуска, то бурение происходит с постоянством скорости (при этом нагрузка на долото не постоянна). Если при бурении задана малая скорость бурения, то бурение происходит с постоянством нагрузки на долото (постоянством усилия в мертвом конце каната).

3.2 Структурная схема САУ электропривода РПД

Структурная схема линеаризованной САУ электропривода РПД приведена на рисунке 3.2.

Рисунок 3.2 – Структурная схема САУ дополнительного привода подъемной



На схеме приняты следующие обозначения:

РС – регулятор скорости;

РТ – регулятор тока;

РП – регулятор положения;

$K_{дт}$ – коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТ;

$K_{дс}$ – коэффициент входной цепи обратной связи регулятора и передачи датчика скорости.

$K_{дп}$ – коэффициент передачи датчика положения.

САУ электропривода РПД реализована как трехконтурная с внутренними контурами тока якоря и скорости и внешним контуром положения.

Оптимизация САУ электропривода РПД сводится к определению типа регуляторов, определения параметров регуляторов и цепей обратных связей, обеспечивающих технически оптимальные переходные процессы.

Оптимизация проводится в два этапа:

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

3.3 Оптимизация контура тока якоря

Оптимизацию контура тока осуществляем без учета отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя, что соответствует режиму работы с заторможенным двигателем. Структурная схема приведена на рисунке 3.3, где пунктирной линией показана неучтенная обратная связь по ЭДС двигателя.

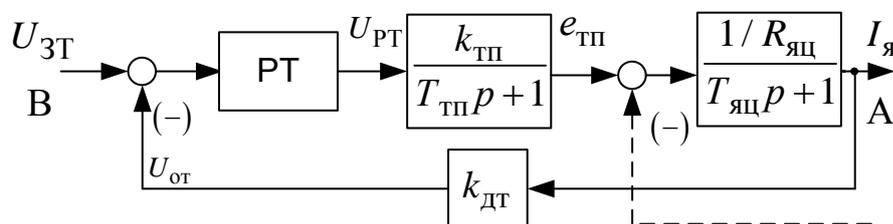


Рисунок 3.3 – Структурная схема контура тока в режиме заторможенного двигателя.

Контур содержит два инерционных звена первого порядка с постоянными времени $T_{яц} = 11,044 \cdot 10^{-3}$ с и $T_{тп} = 1,67 \cdot 10^{-3}$ с.

Отношение $\frac{T_{яц}}{T_{тп}} = \frac{11,044 \cdot 10^{-3}}{1,67 \cdot 10^{-3}} = 6,61$ значительно больше единицы,

следовательно, принимаем:

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

- $T_{яц} = 0,011044$ с – большая постоянная контура, которую следует компенсировать.

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

$$W_{рт}(p) = k_{рт} \cdot \frac{T_{рт} \cdot p + 1}{T_{рт} \cdot p} = k_{рт} + \frac{1}{T_{рт} \cdot p},$$

где $T_{рт} = T_{яц} = 0,011044$ с – постоянная времени регулятора.

Коэффициент обратной связи по току

$$k_{т} = \frac{U_{зт.макс}}{I_{эп.макс}} = \frac{10}{360} = 0,0277 \frac{\text{В}}{\text{А}},$$

где $U_{зт.макс} = 10$ – максимальное напряжение задания на ток;

Коэффициент усиления регулятора тока

$$k_{рт} = \frac{T_{яц} \cdot R_{яц}}{k_{тп} \cdot k_{т} \cdot a_{т} \cdot T_{\mu r}} = \frac{0,01104 \cdot 0,155008}{161,082 \cdot 0,02777 \cdot 2 \cdot 0,00167} = 0,115,$$

где $a_{т} = 2$ – коэффициент оптимизации контура тока по МО.

Передаточная функция разомкнутого контура тока

$$W_{\text{т.раз}}(p) = \frac{1}{a_{\text{т}} \cdot T_{\mu\text{т}} \cdot p \cdot (T_{\mu\text{т}} \cdot p + 1)} = \frac{1}{2 \cdot 0,00167 \cdot p \cdot (0,00167 \cdot p + 1)} =$$

$$= \frac{1}{5,577 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 0,00334 \cdot p}.$$

Передаточная функция замкнутого контура тока

$$W_{\text{т.зам}}(p) = \frac{1/k_{\text{т}}}{a_{\text{т}} \cdot T_{\mu\text{т}} \cdot p \cdot (T_{\mu\text{т}} \cdot p + 1) + 1} = \frac{1/0,02777}{2 \cdot 0,00167 \cdot p \cdot (0,00167 \cdot p + 1)} =$$

$$= \frac{7,198}{5,577 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 0,00334 \cdot p + 1}.$$

По структурной схеме контура тока (см. рисунок 3.3) набираем имитационную модель в среде Matlab R2007a, представленную на рисунке. ПИ – регулятор организован по схеме, изображенной на рисунке 3.5.

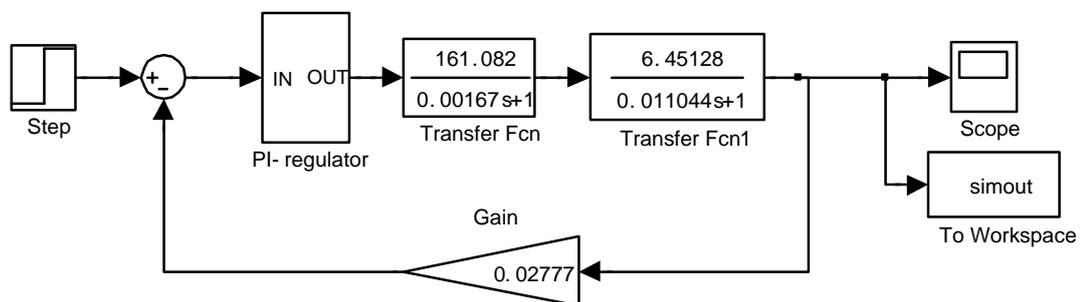


Рисунок 3.4 – Имитационная модель контура тока

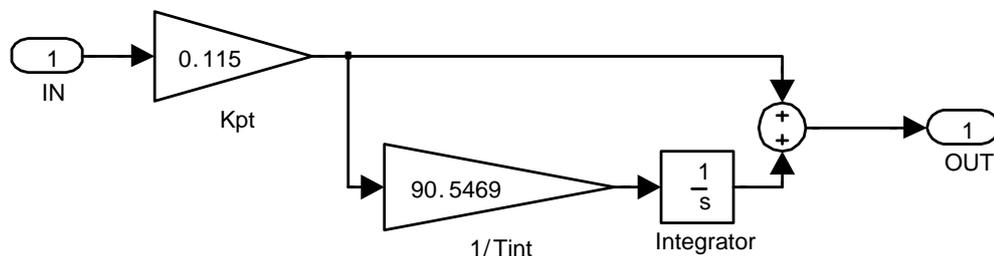


Рисунок 3.5 – Модель ПИ – регулятора в среде Matlab R2006a.

Результаты моделирования переходных процессов в контуре тока, при отработке ступенчатого входного воздействия $U_{\text{ст}} = 10 \text{ В}$ приведены в виде переходной характеристики $i_{\text{я}}(t)$ на рисунке 3.6.

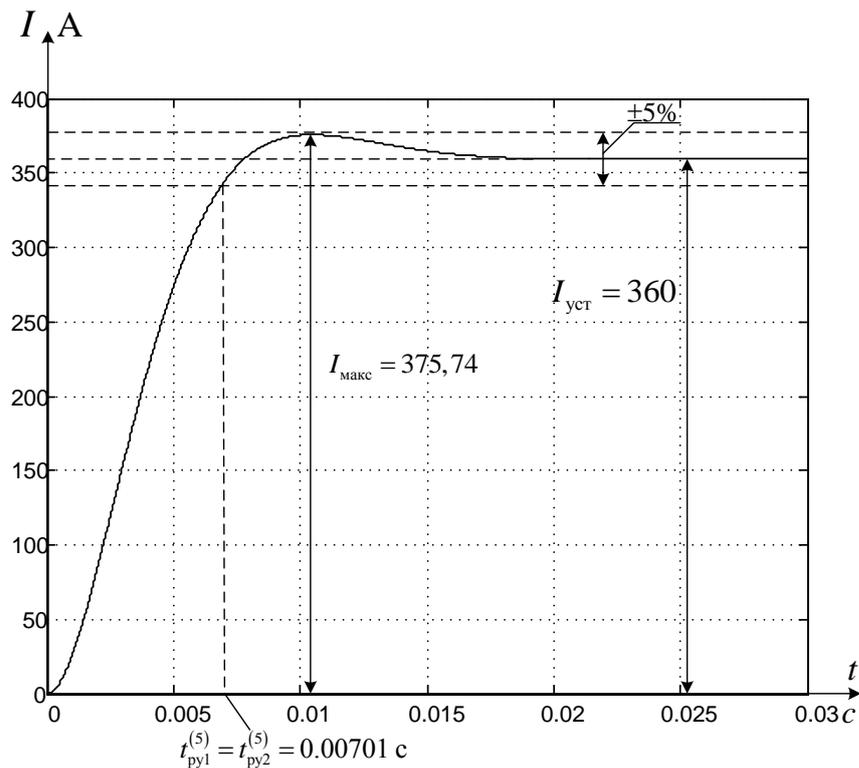


Рисунок 3.6 – Переходная характеристика $i(t)$ контура тока по структурной схеме, представленной на рисунке 3.6

По переходной характеристике $i(t)$ были определены следующие показатели:

$t_{\text{пу1}}^{(5)} = 0,00701$ с – время первого согласования;

$t_{\text{пу2}}^{(5)} = 0,00701$ с – время переходного процесса;

$I_{\text{макс}} = 375,74$ А – максимальное значение тока;

$I_{\text{уст}} = 360$ А – установившееся значение тока;

$$\sigma = \frac{I_{\text{макс}} - I_{\text{уст}}}{I_{\text{уст}}} \cdot 100\% = \frac{375,74 - 360}{360} \cdot 100\% = 4,37\% \text{ – перерегулирование.}$$

Анализ полученных результатов моделирования контура тока, настроенного на модульный оптимум показывает, что они практически не отличаются друг от друга. Небольшая разница экспериментальных и

ожидаемых показателей связана с неточностью обработки графиков. Так как установившаяся ошибка $\Delta I_{уст} = 0$, то в контуре тока обеспечивается астатическое регулирование.

3.4. Оптимизация контура скорости

Структурная схема контура скорости приведена на рисунке 3.7.

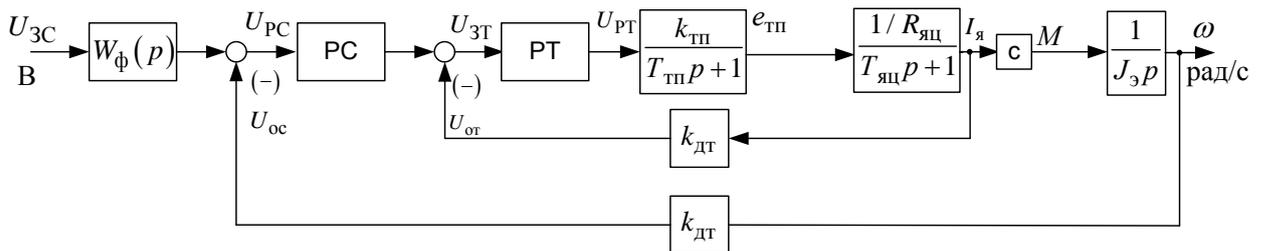


Рисунок 3.7 – Структурная схема контура скорости

Контур тока настраиваем на симметричный оптимум (СО). С учетом параметров контура выбираем ПИ – регулятор с передаточной функцией

$$W_{pc}(p) = k_{pc} \cdot \frac{T_{pc} \cdot p + 1}{T_{pc} \cdot p} = k_{pc} + \frac{1}{T_{pc} \cdot p}.$$

Малая постоянная времени контура

$$T_{\mu c} = a_t \cdot T_{тп} = 2 \cdot 0.00167 = 0.00334 \text{ с.}$$

Коэффициент обратной связи по скорости

$$k_c = \frac{U_{зс.макс}}{\omega_{эп.макс}} = \frac{10}{104.72} = 0.0955 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}},$$

где $U_{зс.макс} = 10 \text{ В}$ – максимальное напряжение задания на скорость.

Коэффициент усиления регулятора скорости

$$k_{pc} = \frac{J_э \cdot k_t}{c \cdot k_c} \cdot \frac{1}{a_c \cdot a_t \cdot T_{ит}} = \frac{1,7 \cdot 0,02777}{4,018 \cdot 0,0955} \cdot \frac{1}{2 \cdot 2 \cdot 0,00167} = 18,418.$$

Большая постоянная времени контура, постоянная времени фильтра

$$T_2 = T_{pc} = b_c \cdot a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T} = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0.00167 = 0.01336 \text{ с},$$

где $a_c = 2, b_c = 2$ – коэффициенты оптимизации контура скорости на СО.

Передаточная функция разомкнутого контура скорости, настроенного на СО

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{с.раз}} &= \frac{b_c \cdot a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p + 1}{b_c \cdot a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot \left\{ a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot \left[a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot (T_{\mu T} \cdot p + 1) + 1 \right] \right\}} = \\ &= \frac{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0.00167 \cdot p + 1}{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0.00167 \cdot p \cdot \left\{ 2 \cdot 2 \cdot 0.00167 \cdot p \cdot \left[2 \cdot 0.00167 \cdot p \cdot (0.00167 \cdot p + 1) + 1 \right] \right\}} = \\ &= \frac{0.01336 \cdot p + 1}{4.977 \cdot 10^{-10} \cdot p^4 + 2.981 \cdot 10^{-7} \cdot p^3 + 8.925 \cdot 10^{-5} \cdot p^2}. \end{aligned}$$

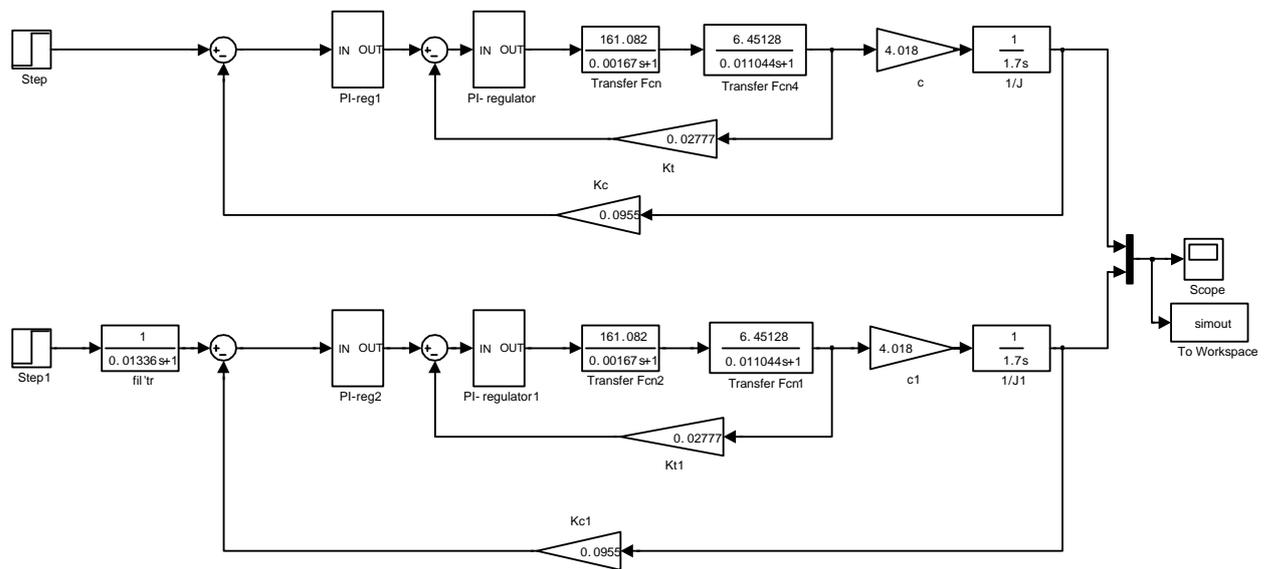
Передаточная функция замкнутого контура скорости без фильтра на входе

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{с.зам}}^{\text{бф}} &= \frac{\frac{1}{k_c} \cdot (b_c \cdot a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p + 1)}{b_c \cdot a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot \left\{ a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot \left[a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot (T_{\mu T} \cdot p + 1) + 1 \right] + 1 \right\}} = \\ &= \frac{\frac{1}{0.0955} \cdot (2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0.00167 \cdot p + 1)}{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0.00167 \cdot p \cdot \left\{ 2 \cdot 2 \cdot 0.00167 \cdot p \cdot \left[2 \cdot 0.00167 \cdot p \cdot (0.00167 \cdot p + 1) + 1 \right] + 1 \right\}} = \\ &= \frac{0.1398 \cdot p + 10.471}{4.977 \cdot 10^{-10} \cdot p^4 + 2.981 \cdot 10^{-7} \cdot p^3 + 8.925 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 1.336 \cdot 10^{-2} \cdot p + 1}. \end{aligned}$$

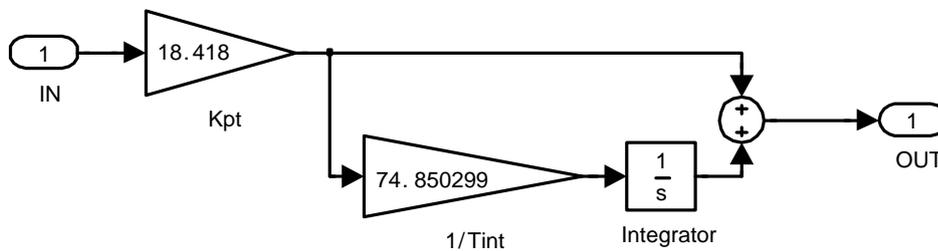
Передаточная функция замкнутого контура скорости с фильтром на входе

$$\begin{aligned}
 W(p)_{\text{с.зам}}^{\text{сф}} &= \frac{1/k_c}{b_c \cdot a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot \{a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot [a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p \cdot (T_{\mu T} p + 1) + 1] + 1\} + 1} = \\
 &= \frac{1/0.0955}{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0.00167 \cdot p \cdot \{2 \cdot 2 \cdot 0.00167 \cdot p \cdot [2 \cdot 0.00167 \cdot p \cdot (0.00167 \cdot p + 1) + 1] + 1\} + 1} = \\
 &= \frac{10.471}{4.977 \cdot 10^{-10} \cdot p^4 + 2.981 \cdot 10^{-7} \cdot p^3 + 8.925 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 1.336 \cdot 10^{-2} \cdot p + 1}.
 \end{aligned}$$

По структурной схеме контура скорости, настроенного на СО (см. Рис. 3.7) набираем имитационную модель в среде Matlab R2007a, представленную на рисунке 3. 8.



1)



2)

Рисунок 3. 8 – 1) Имитационная модель контура скорости 2) ПИ-регулятор скорости

Результаты моделирования переходных процессов в контуре скорости, настроенного на симметричный оптимум, при обработке ступенчатого входного воздействия приведены в виде переходных характеристик на рисунке 3.9 .

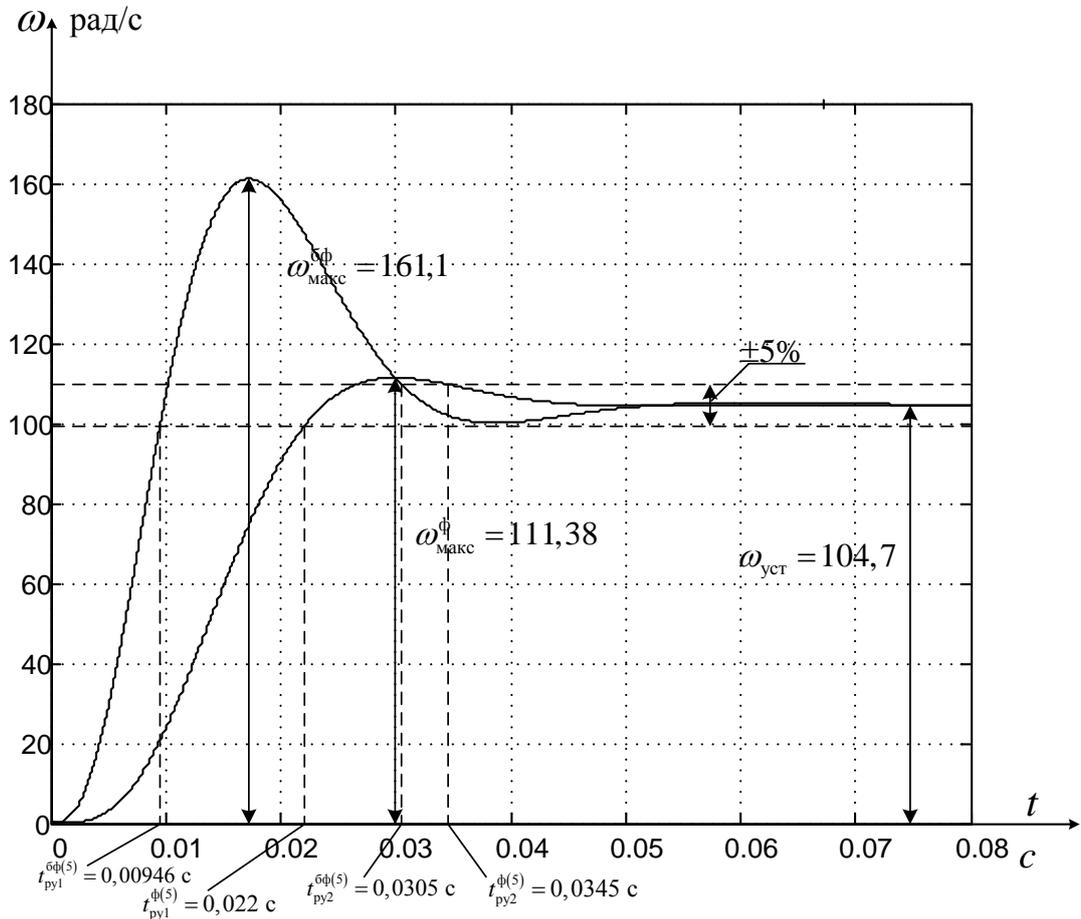


Рисунок 3.9 – Переходные характеристики $\omega(t)$ контура скорости

настроенного на СО: 1 – $\omega(t)$ без входного фильтра; 2 – $\omega(t)$ с фильтром на входе контура

По переходной характеристике $\omega(t)$ были определены следующие показатели:

$t_{\text{py1}}^{(5)\phi} = 0.022$ с – время первого согласования (с фильтром);

$t_{py2}^{(5)\phi} = 0.0345$ с – время переходного процесса (с фильтром);

$t_{py1}^{(5)\phi} = 0.00946$ с – время первого согласования (без фильтра);

$t_{py2}^{(5)\phi} = 0.0305$ с – время переходного процесса (без фильтра);

$\omega_{\max}^{\phi} = 111.381 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ – максимальное значение скорости (с фильтром);

$\omega_{уст} = 104.7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ – установившееся значение скорости;

$$\sigma_{\phi} = \frac{\omega_{\max}^{\phi} - \omega_{уст}}{\omega_{уст}} \cdot 100\% = \frac{111,381 - 104,7}{104,7} \cdot 100\% = 6.38\%$$

$$\sigma_{\phi}^{\text{бф}} = \frac{\omega_{\max}^{\text{бф}} - \omega_{уст}}{\omega_{уст}} \cdot 100\% = \frac{161,1 - 104,7}{104,7} \cdot 100\% = 53.86\% -$$

– перерегулирование.

Анализ полученных результатов моделирования контура скорости (с фильтром), настроенного на симметричный оптимум показывает, что они практически не отличаются друг от друга. Небольшая разница экспериментальных и ожидаемых показателей связана с неточностью обработки графиков. Установившаяся ошибка при настройке контура скорости по СО $\Delta\omega_{y,уст}=0$, следовательно этот контур обладает астатизмом первого порядка по управлению.

3.5. Оптимизация контура положения

Для обеспечения точного останова подъемного механизма в крайнем верхнем и нижнем положениях реализуется дополнительный контур регулирования по высоте подъема. Для его реализации необходим датчик

положения (высоты подъема). Импульсный датчик положения установлен на валу барабана. Структурная схема представлена на рисунке 3.19.

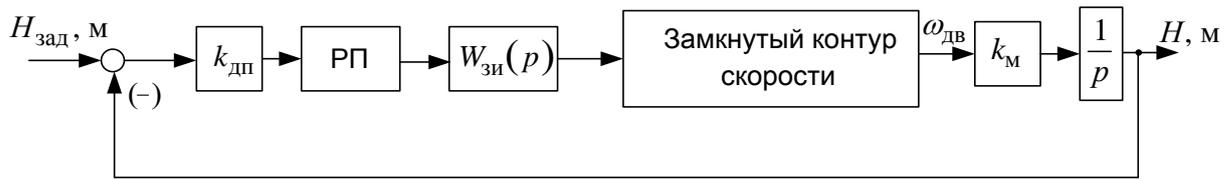


Рисунок 3.10 – Структурная схема контура положения.

На входе контура скорости установлен S-образный задатчик интенсивности скорости с постоянной времени задатчика $T_{зи}=2\text{с}$. Представим задатчик интенсивности инерционным звеном первого порядка с передаточной функцией

$$W(p)_{зи} = \frac{1}{\tau_{зи} \cdot p + 1},$$

где

$$\tau_{зи} = \frac{T_{зи} \cdot V_{слмакс}}{V_{макс} \cdot (3 \div 4)} = \frac{2 \cdot 0,2}{(3 \div 4)} = (0,133 \div 0,1)\text{с}$$

– постоянная времени задатчика интенсивности;

$$V_{слмакс} = 0,2 \cdot V_{макс}$$

– принятое максимальное значение скорости подъема (спуска) в следящем режиме, м/с.

Параметры звеньев контура положения:

$$k_c = \frac{U_{зс.макс}}{\omega_{эп.макс}} = \frac{10}{104,72} = 0,0955 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}} \text{ – коэффициент обратной связи по}$$

скорости;

$$T_{\mu\text{сэ}} = 3,34 \cdot 10^{-3} \text{с} \text{ – малая постоянная времени контура скорости;}$$

$$k_m = \frac{D_{\delta}}{2 \cdot i_{пол} \cdot i_{ред}} = \frac{(0,629 \div 0,786)}{2 \cdot 10 \cdot 182,56} = (0,00017 \div 0,000215) \frac{\text{М}}{\text{рад}} \text{ –}$$

коэффициент передачи механизма;

$$k_{\text{дп}} = \frac{n_{\text{дп}} \cdot i_{\text{пол}}}{\pi \cdot D_{\text{с}}} = \frac{1000 \cdot 10}{3,14 \cdot (0,629 \div 0,786)} = (5063,14 \div 4051,8) \frac{\text{дискрет}}{\text{м}} \quad -$$

коэффициент передачи датчика положения, установленного на валу барабана;

– число импульсов датчика положения на один оборот вала.

Передаточная функция П-регулятора положения

$$W_{\text{рп}}(p) = k_{\text{рп}}.$$

Задатчик интенсивности остается в контуре положения. Следовательно, коэффициент усиления регулятора положения находится по выражению

$$k_{\text{рп}} = \frac{k_{\text{с}}}{k_{\text{м}} \cdot k_{\text{дп}} \cdot a_{\text{п}} \cdot T_{\text{мпэ}}} = \frac{0,0955}{(0,00017 \div 0,000215) \cdot (5063,14 \div 4051,8) \cdot 4 \cdot 0,11336} = (0,2447 \div 0,2418),$$

где

$$T_{\text{мпэ}} = b_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}} \cdot T_{\text{мсэ}} + \tau_{\text{зи}} = 2 \cdot 2 \cdot 3,34 \cdot 10^{-3} + (0,133 \div 0,1) = (0,14636 \div 0,11336) \text{с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени контура положения с задатчиком интенсивности скорости.

$a_{\text{п}} = 4$ – коэффициент оптимизации контура положения по ЛО.

Оптимизированный контур имеет следующие передаточные функции:

– разомкнутого контура с задатчиком скорости

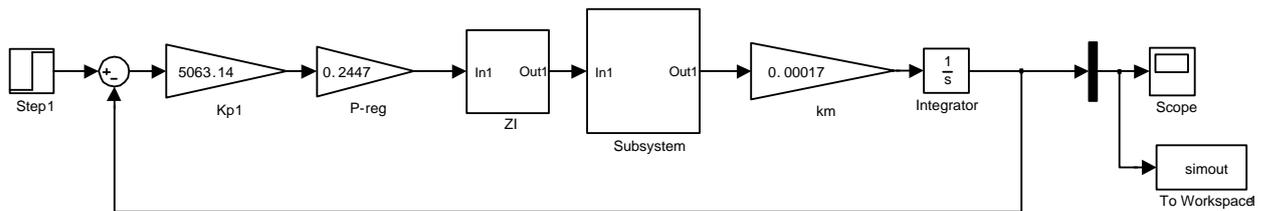
$$W(p)_{\text{п.раз}} = \frac{1}{a_{\text{п}} T_{\text{мпэ}} p \cdot (\tau_{\text{зи}} p + 1) \cdot (b_{\text{с}} a_{\text{с}}^2 T_{\text{мсэ}}^3 p^3 + b_{\text{с}} a_{\text{с}}^2 T_{\text{мсэ}}^2 p^2 + b_{\text{с}} a_{\text{с}} T_{\text{мсэ}} p + 1)} = \frac{1}{0,45344 \cdot p \cdot (0,1 \cdot p + 1) \cdot (2,98 \cdot 10^{-7} \cdot p^3 + 8,92 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 0,01336 \cdot p + 1)}$$

– замкнутого контура с задатчиком скорости по управлению

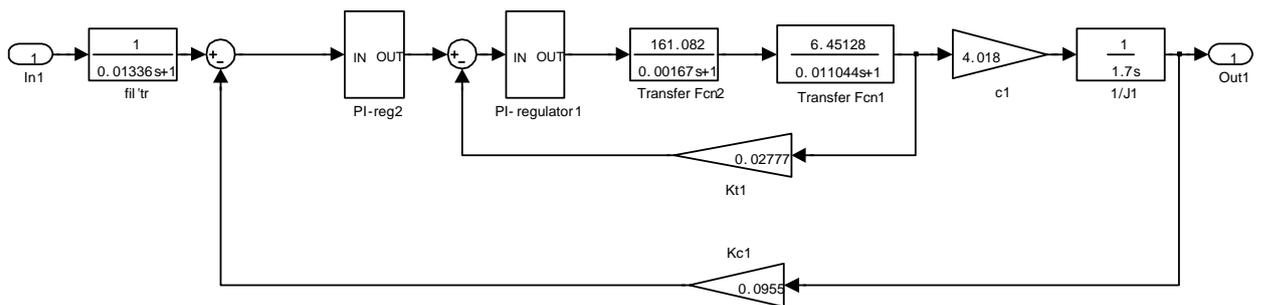
$$W(p)_{\text{п.раз}} = \frac{1/k_{\text{п}}}{a_{\text{п}} T_{\text{мэп}} p \cdot (\tau_{\text{зп}} p + 1) \cdot (b_c a_c^2 T_{\text{мэп}}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\text{мэп}}^2 p^2 + b_c a_c T_{\text{мэп}} p + 1) + 1} =$$

$$= \frac{1/5063,14}{0,45344 \cdot p \cdot (0,1 \cdot p + 1) \cdot (2,98 \cdot 10^{-7} \cdot p^3 + 8,92 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 0,01336 \cdot p + 1) + 1}$$

По передаточной функции контура положения, набираем имитационную модель в среде Matlab R2006а, представленную на рисунке 3.11.



1)



2)

Рисунок 3.11. – 1)Имитационная модель контура положения 2) Модель контура скорости на СО, входящая в контур положения

Замкнутый контур положения представляет собой астатическую систему 1-го порядка по управлению и обеспечивает равную нулю статическую ошибку при постоянном значении задающего сигнала $V=0$ и равное нулю перерегулирование при обработке ступенчатого задания.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА БУРОВОЙ ЛЕБЕДКИ

4.1 Основные нелинейности САУ дополнительного электропривода буровой лебедки

- насыщение регулятора скорости $U_{рс.макс} \leq (10 \div 12)$ В, принимаем

$$U_{рс.макс} = 10 \text{ В};$$

- насыщение регулятора тока $U_{рт.макс} \leq (10 \div 12)$ В. Принимаем $U_{рт.макс} = 10$ В;
- характеристика устройства постоянного токоограничения, реализованного путем ограничения выходного напряжения регулятора скорости

$$U_{рс} \leq U_{рс.доп},$$

где $U_{рс.доп} = k_T \cdot I_{эп.макс} = 0.02777 \cdot 360 = 9.9972$ В;

примем $U_{рс.доп} = 10$ В

- ограничение угла управления тиристорного преобразователя, которое учитывается ограничением ЭДС преобразователя

$$E_{тп.макс} = E_{d0} \cdot \cos \alpha_{мин} = 513 \cdot \cos 10^\circ = 505.206 \text{ В};$$

- активный характер нагрузки

$$M_c(\omega) = M_c;$$

- нелинейный характер регулировочной характеристики реверсивного тиристорного преобразователя с линейным опорным напряжением.

4.2 Структурная схема нелинейной САУ дополнительного электропривода буровой лебедки

Структурная схема нелинейной САУ главного электропривода буровой лебедки представлена на рисунке 4.1.

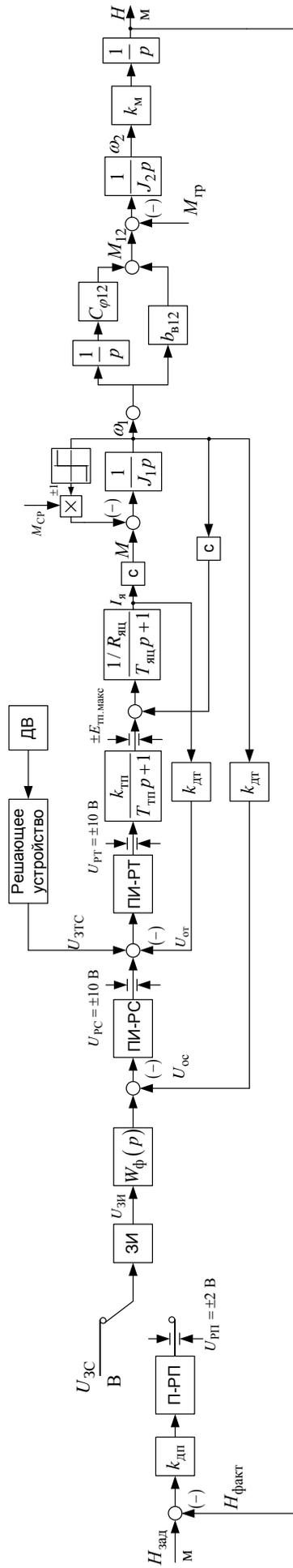


Рисунок 4.1 – Структурная схема нелинейной САУ дополнительного электропривода буровой лебедки

4.3. Имитационная модель нелинейной САУ дополнительного электропривода буровой лебедки

На основании структурной схемы (рисунок 4.1) в пакете Simulink системы MATLAB R2007a разработана имитационная модель нелинейной САУ дополнительного электропривода буровой лебедки:

Имитационная модель регулируемого электропривода представлена на рисунке 4.2:

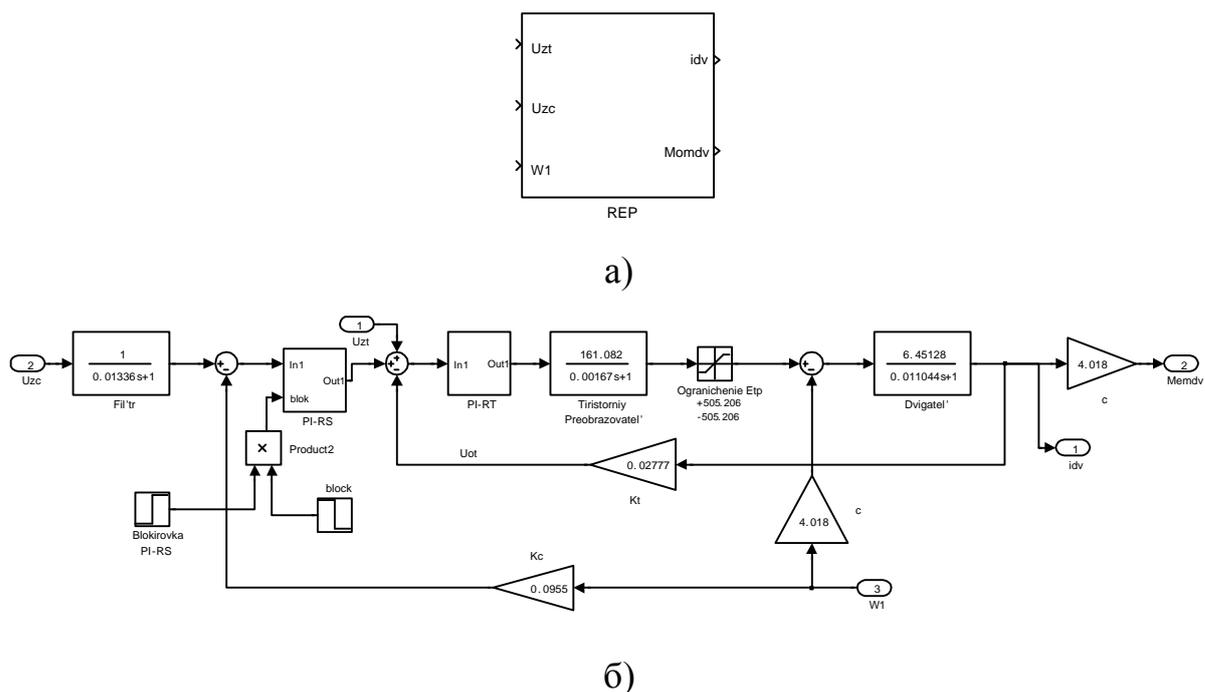
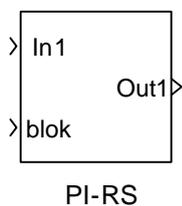


Рисунок 4.2 – Имитационная модель РЭП:

а) – суперблок; б)– схема набора модели

На рисунках 4.3, 4.4 представлены имитационные модели ПИ-регулятора скорости и ПИ-регулятора тока.



а)

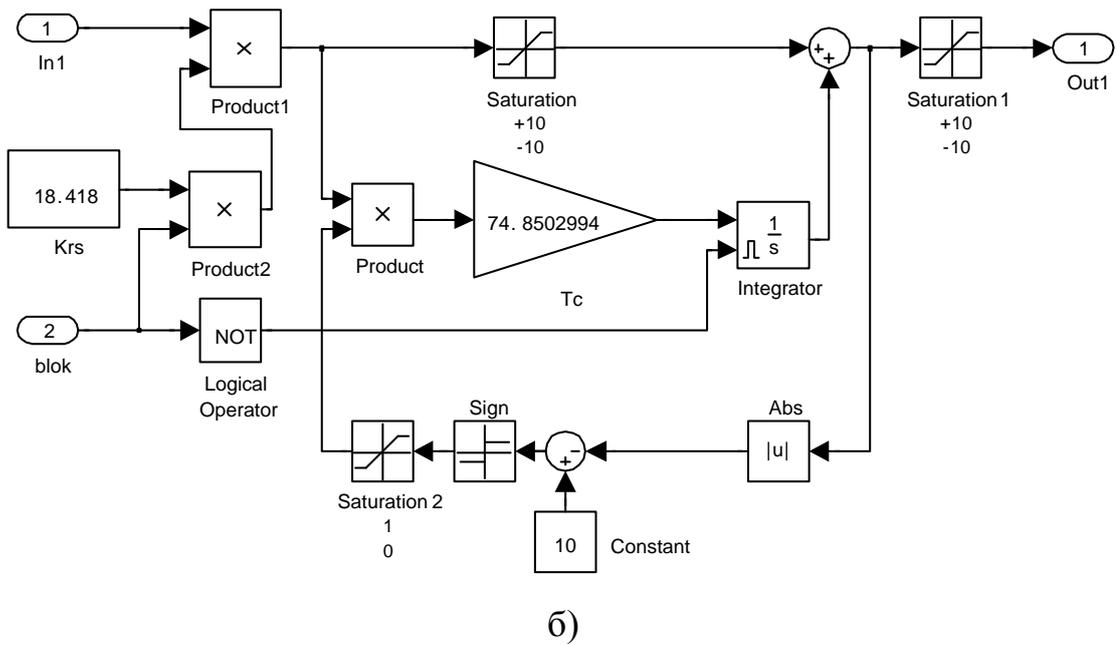
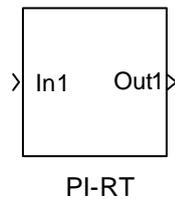


Рисунок 4.31 – Имитационная модель ПИ–регулятора скорости с постоянным ограничением: а) – суперблок; б)– схема набора модели



а)

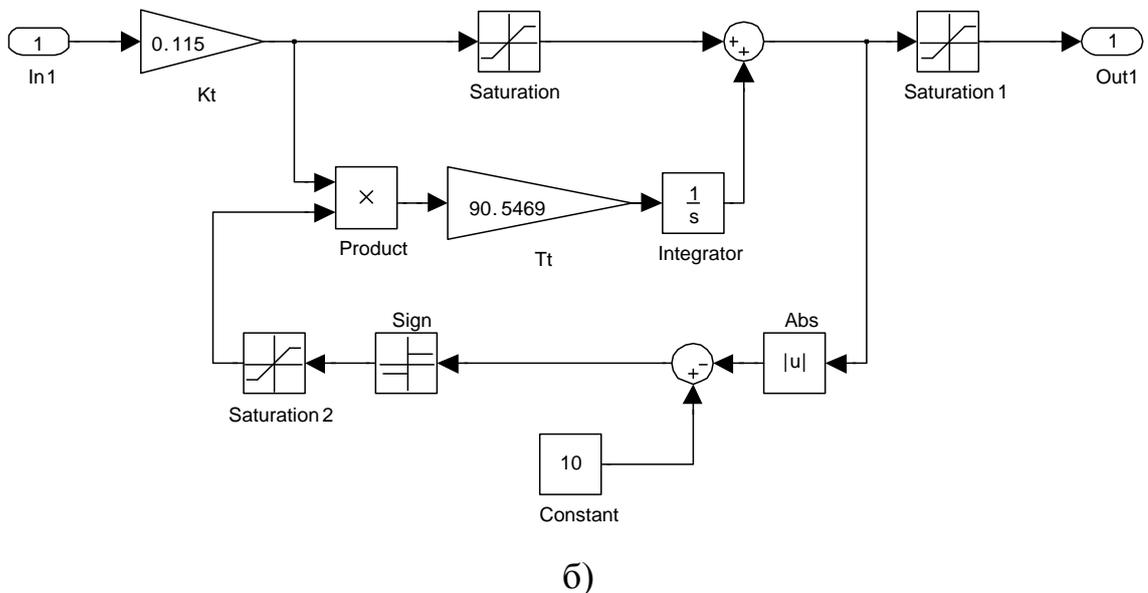


Рисунок 4.4 – Имитационная модель ПИ–регулятора тока с постоянным ограничением: а) – суперблок; б)– схема набора модели

Ограничение момента двигателя в пусковых режимах может быть достигнуто применением задатчика интенсивности скорости во входной цепи управления электропривода. Простейшим задатчиком скорости является линейный задатчик. Фактически установка линейного задатчика скорости обеспечивает постоянное значение темпа нарастания (спадания при торможении) скорости, т.е. постоянное ускорение (замедление) привода, что достигается поддержанием постоянного значения динамического момента электропривода.

При этом электромагнитный момент электродвигателя и его максимальное значение зависят от значения статического момента нагрузки. Задатчик интенсивности с *s*-образной характеристикой позволит дополнительно ограничить вторую производную скорости (темп нарастания динамического момента электропривода) и тем самым повысить плавность переходных процессов в электроприводе.

Модель задатчика интенсивности с *s*-образной характеристикой принята аналоговой с максимальными значениями входного и выходного напряжения 10 В (рисунок 4.5). Схема набора имитационной модели задатчика интенсивности с *S*-образной характеристикой представлена на рисунке 4.6. Приняты следующие параметры:

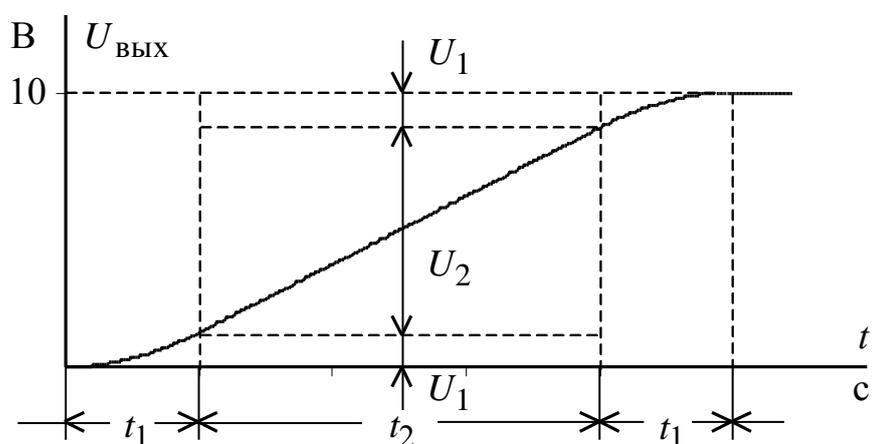


Рисунок 4.5 – Временная характеристика *S*-образного задатчика интенсивности

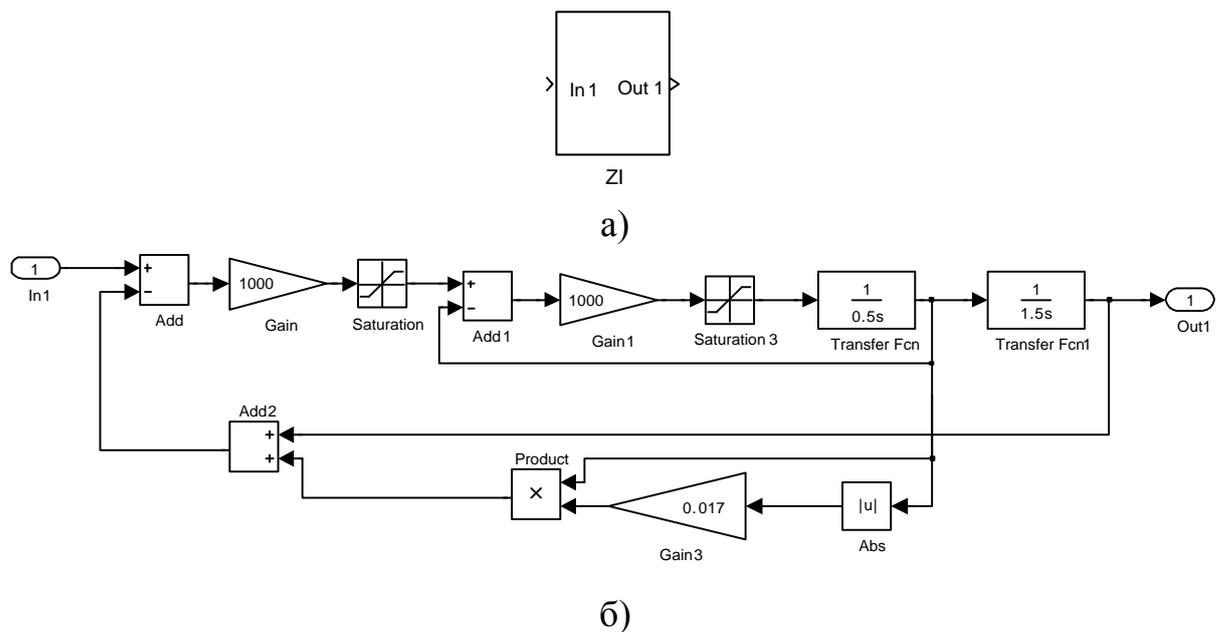


Рисунок 4.6 – Имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной характеристикой: а) – суперблок; б)– схема набора модели

Имитационная модель инерционной массы, набранной в пакете Simulink системы MATLAB, с учетом в общем случае переменного момента инерции J и переменного момента сопротивления активного характера M_C приведена на рисунке 4.7. В модели присутствуют две инерционные массы т.к. система является двухмассовой. Параметры настройки имитационной модели:

- блоки Saturation и Saturation1 Upper limit=10000, Lower limit=0;
- блоки Saturation2 и Saturation3 Upper limit=0, Lower limit=-10000;
- блок Lookup Table4

input	-10000	0	0.0001	10000
output	0	0	1	1

- блок Lookup Table3

input	-10000	0	0.0001	10000
output	1	1	0	0

- блок Lookup Table1

input	-10000	-0.0001	0	10000
output	0	0	1	1

- блок Lookup Table2

input	-10000	-0.0001	0	10000
output	1	1	0	0

Значения момента инерции J и момента сопротивления реактивного характера M_C могут изменяться произвольным образом в зависимости от времени или координат электропривода.

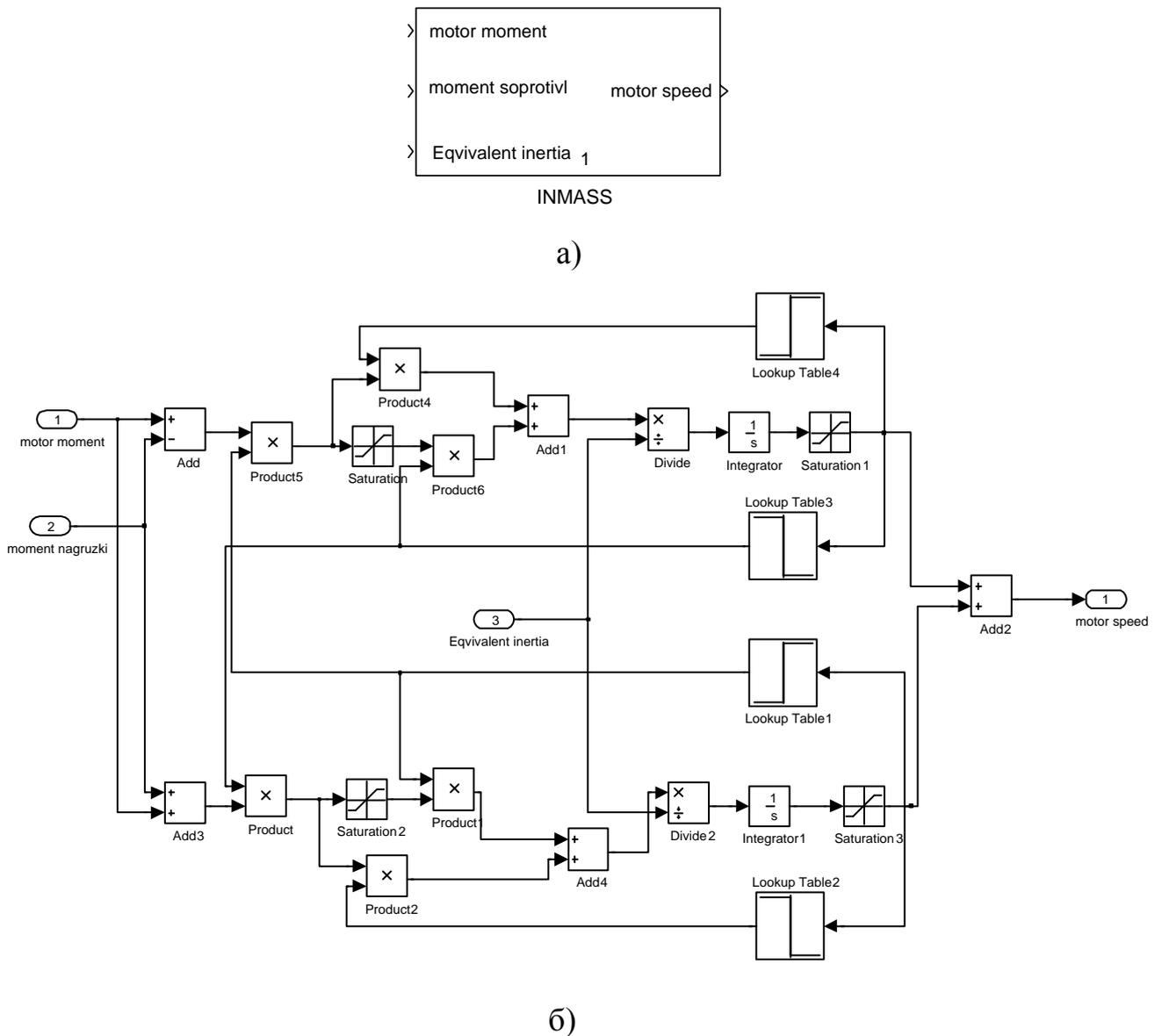


Рисунок 4.7 – Имитационная модель инерционной массы:

а – суперблок; б – схема набора модели

Т.к. диаметр барабана является изменяющейся составляющей в работе буровой лебедки, он реализован логическим элементом (блок S-Function Builder). Параметры настройки логического элемента:

$u[0]$ – отработанная высота;

Имитационная модель функционального преобразователя представлена на рисунке 4.9.

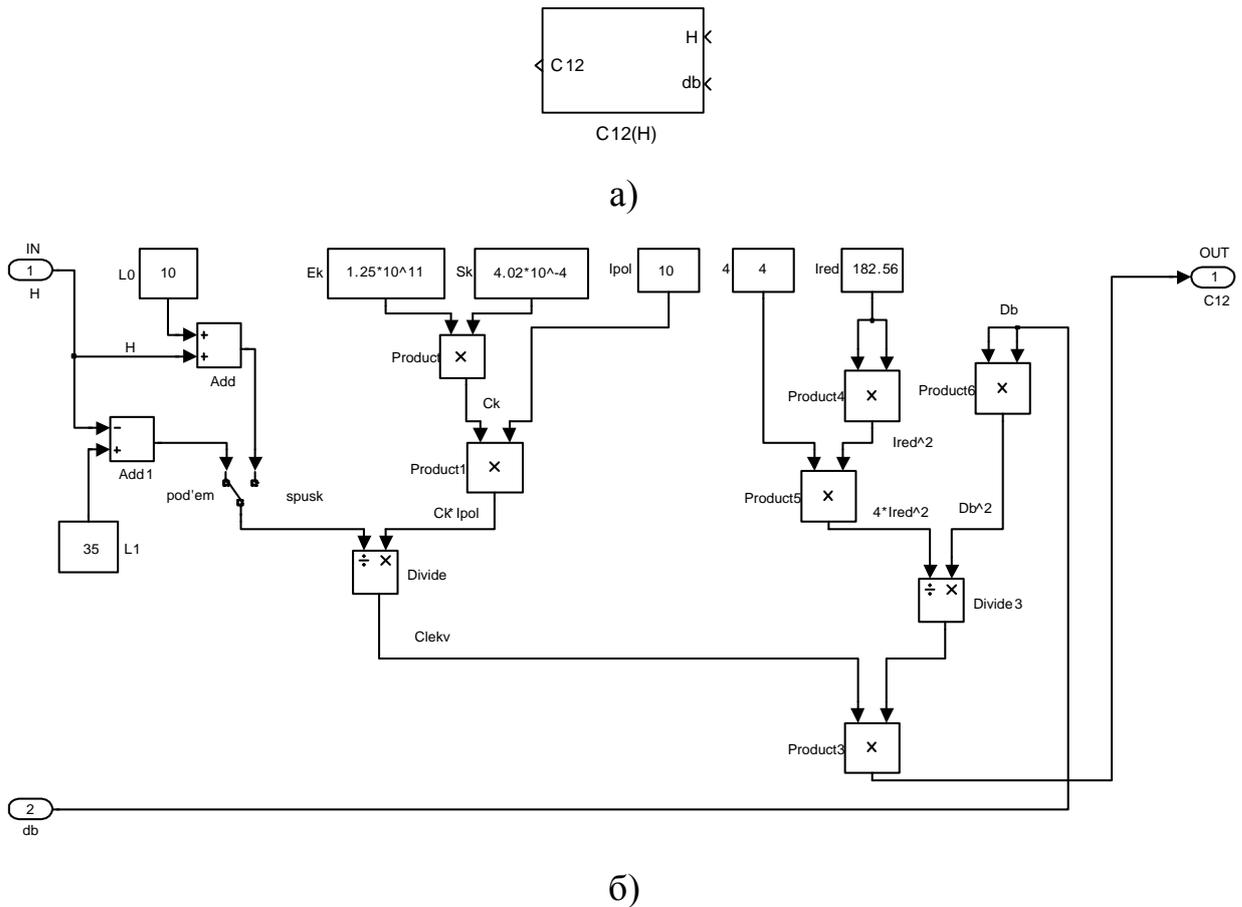
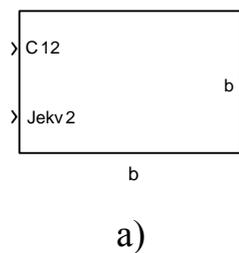


Рисунок 4.9 – Схема функционального преобразователя
а – суперблок; б – схема набора модели

Коэффициент внутреннего демпфирования ДМС переменный в зависимости от приведенного углового коэффициента жесткости ДМС и эквивалентного момента инерции второй массы $J_{\text{эkv2}}$. Имитационная модель функционального преобразователя представлена на рисунке 4.10.



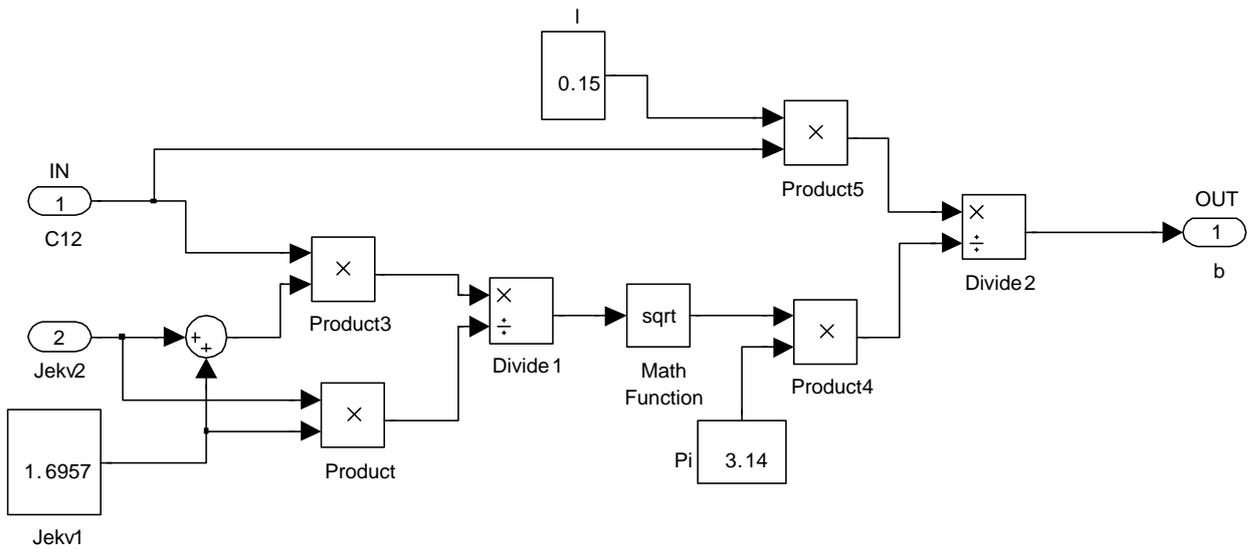
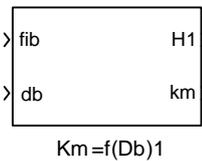


Рисунок 4.10 – Имитационная модель функционального преобразователя

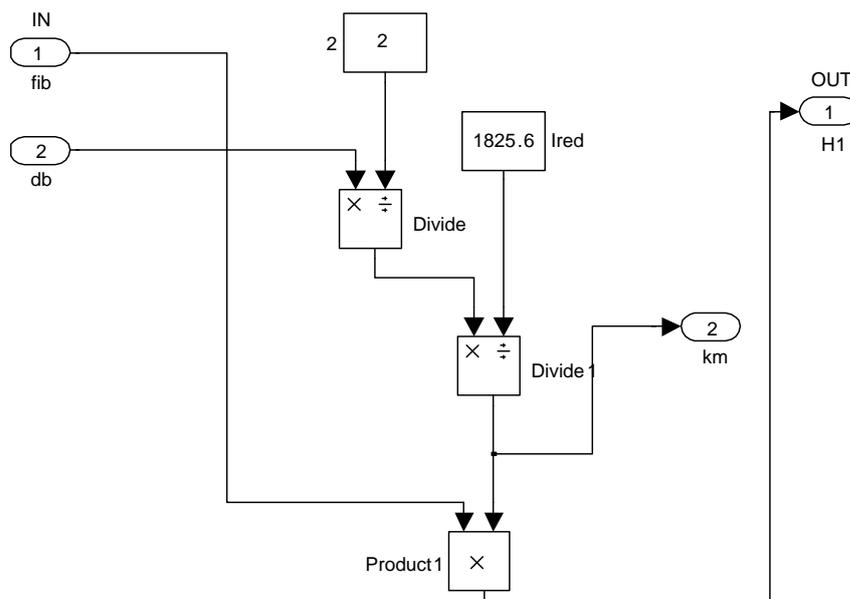
:

а – суперблок; б – схема набора модели

Коэффициент передачи механизма K_M переменный в зависимости от диаметра барабана лебедки D_b . Имитационная модель функционального преобразователя представлена на рисунке 4.11.



а)



б)

Рисунок 4.11 – Имитационная модель функционального преобразователя : а – суперблок; б – схема набора модели

Коэффициент передачи датчика положения $K_{дп}$ переменный в зависимости от диаметра барабана лебедки D_b . Имитационная модель функционального преобразователя представлена на рисунке 4.12.

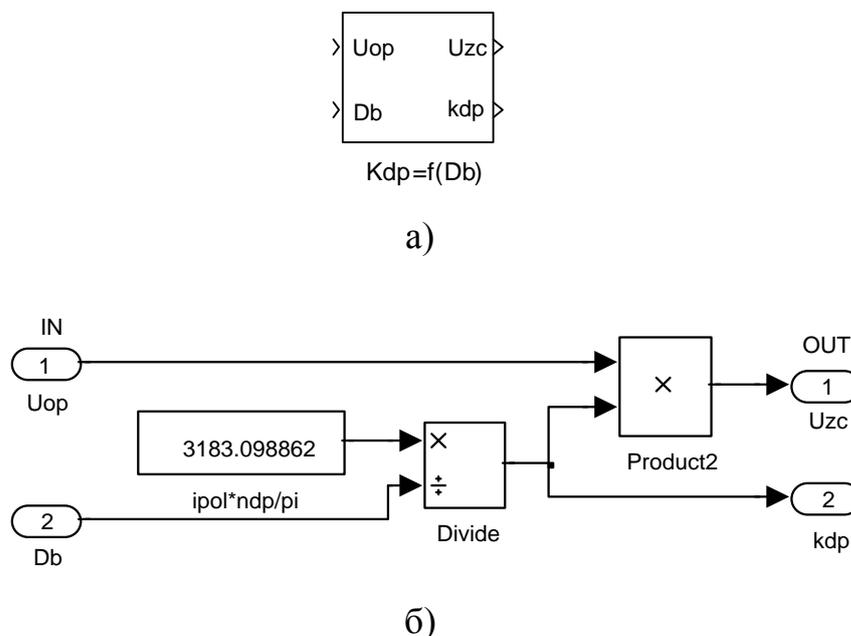
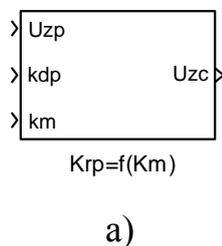
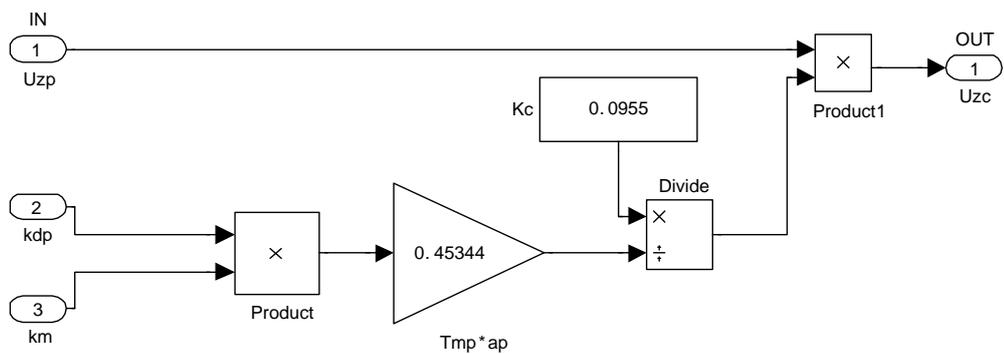


Рисунок 4.12 – Имитационная модель функционального преобразователя : а – суперблок; б – схема набора модели

Коэффициент П-регулятора положения переменный в зависимости от коэффициента передачи механизма K_m и от коэффициента передачи датчика положения . Имитационная модель функционального преобразователя представлена на рисунке 4.13.





б)

Рисунок 4.13 – Имитационная модель функционального преобразователя : а – суперблок; б – схема набора модели

Имитационная модель САУ дополнительного электропривода буровой лебедки, разработанная по структурной схеме (рисунке 4.1), представлена на рисунке 4.14.

4.4. Исследование САУ дополнительного электропривода буровой лебедки на имитационной модели

Целью исследований является проверка работоспособности дополнительного электропривода во всех основных технологических режимах работы.

Исследования сводились к проверке работы САУ главного электропривода буровой лебедки в следующих режимах:

- 1) Режим спуско-подъемных операций;
- 2) Режим подачи долота при бурении.

4.4.1. Исследование САУ дополнительного электропривода буровой лебедки при спуско-подъемных операциях

Особенности работы в режиме спуско-подъемных операций

Перед выполнением операций по подъёму или спуску колонны труб колонна удерживается неподвижной, канаты лебедки не натянуты, привод включен, регуляторы заблокированы. Перед тем, как будет освобождена колонна, предварительно необходимо выбрать слабину и натянуть канаты, создать удерживающий момент на валу второй массы (удерживающую подъёмную силу на крюке). Затем освобождается колонна и на привод подается задание требуемой скорости на подъем или спуск колонны.

Программа исследований электропривода лебедки в режиме спуско-подъемных операций

Исследования электропривода подъёмной лебедки проводятся в следующих основных технологических режимах работы подъёмной лебедки.

1. Подъем или спуск колонны труб. Работа на подъем колонны. Удерживается колонна труб, производится выбор слабины канатов, натяжение канатов, создание удерживающего момента на валу второй массы в режиме заблокированного регулятора скорости.

2. Освобождается колонна труб, колонна удерживается лебедкой (канаты натянуты), подается задание скорости привода на подъём или спуск, в верхнем или нижнем положении осуществляется останов привода с

удержанием колонны, наложением тормоза и отключением привода (блокировкой регуляторов).

3. Подъем или спуск пустого грузозахватного приспособления. Трогание на подъём или спуск из положения «удержание груза тормозом», регулирование скорости и останов привода с наложением тормоза. В этом режиме канаты предварительно натянуты.

4. Установка груза при подъёме или спуске в крайние или заданную позиции по высоте в следящем режиме работы электропривода.

Результаты исследований

1. Подъем из нижнего положения (натяжение канатов, выход на максимальную скорость, переход в следящий режим, точная остановка, наложение тормозов):

- без колонны (только крюк).
- при максимальной массе колонны;

Результаты исследований приведены на рисунках 4.15, 4.16 соответственно.

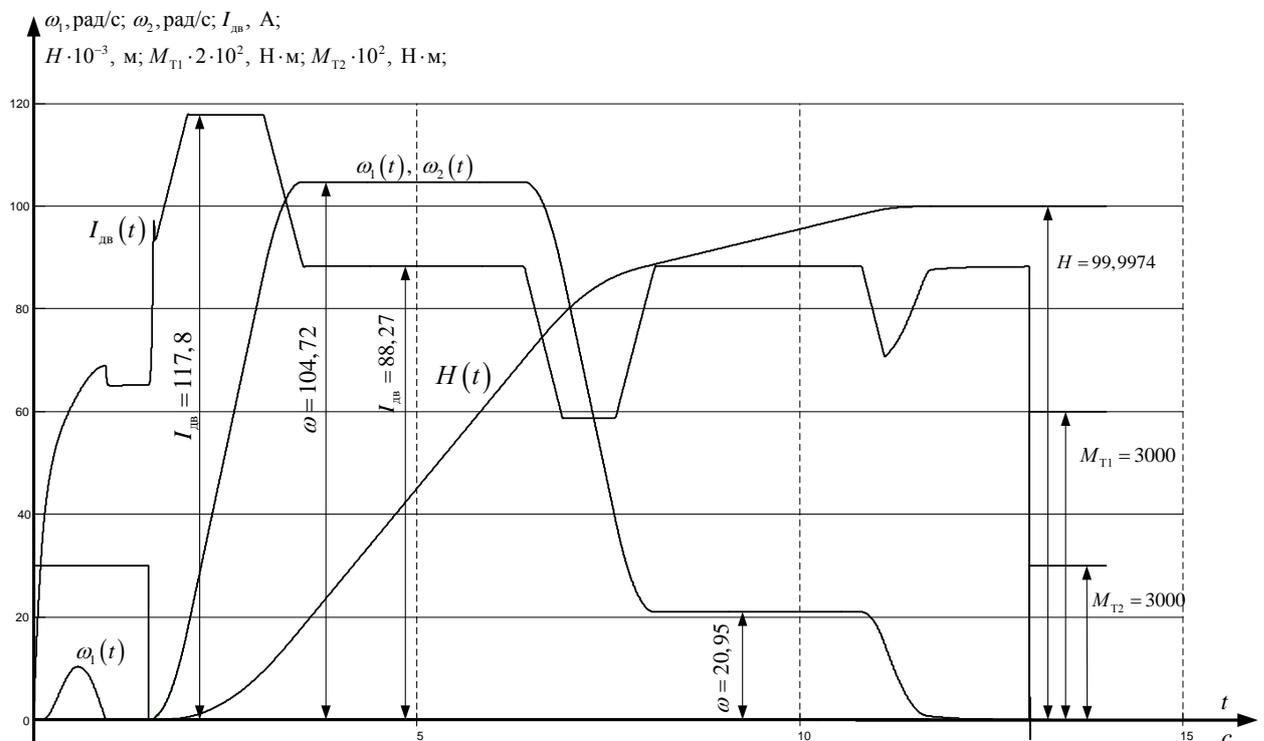


Рисунок 4.15 – Процесс подъема из нижнего положения без колонны

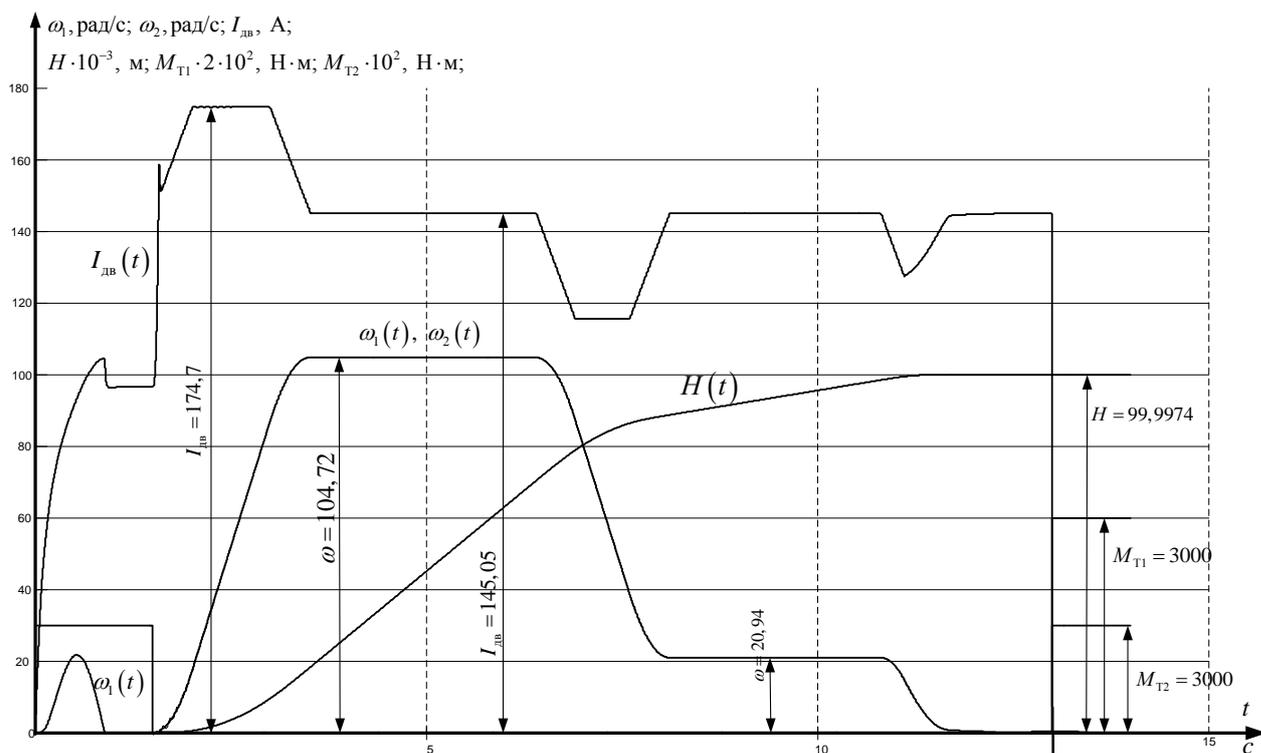


Рисунок 4.16 – Процесс подъема из нижнего положения при максимальном весе колонны

На период времени с подается статическое задание на ток, при этом ПИ-регулятор скорости находится в заблокированном состоянии и заторможена вторая масса тормозом M_{T2} . Вследствие этого происходит изменение первой скорости, что способствует натяжению канатов. В момент времени $t=1,5\text{с}$ вторая масса растормаживается, и ПИ-регулятор скорости разблокирован, что приводит к тому, что электропривод начинает разгоняться до номинальной скорости, и начинается подъем колонны. По мере приближения к заданному положению включается следящий контур, и скорость снижается до значения ограничения регулятора положения. Контур положения обеспечивает точную остановку в заданном положении. После остановки электропривода снимается статическое задание на ток $U_{ЗТС}$, блокируется регулятор скорости и накладываются тормоза M_{T1} и M_{T2} .

2. Спуск из верхнего положения (натяжение канатов, выход на максимальную скорость, переход в следящий режим, точная остановка, наложение тормозов):

– без колонны (только крюк).

– при максимальной массе колонны;

Результаты исследований приведены на рисунках 4.17, 4.18

соответственно.

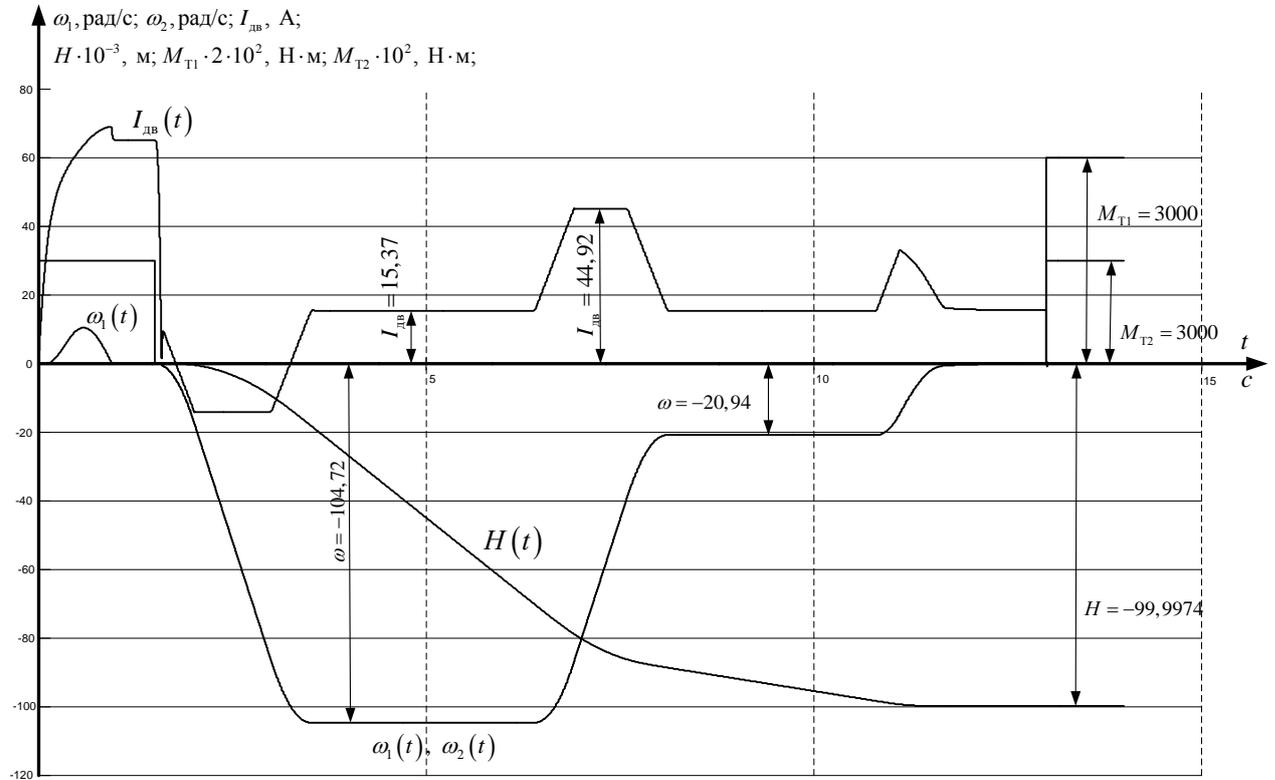


Рисунок 4.17 – Процесс спуска из верхнего положения без колонны

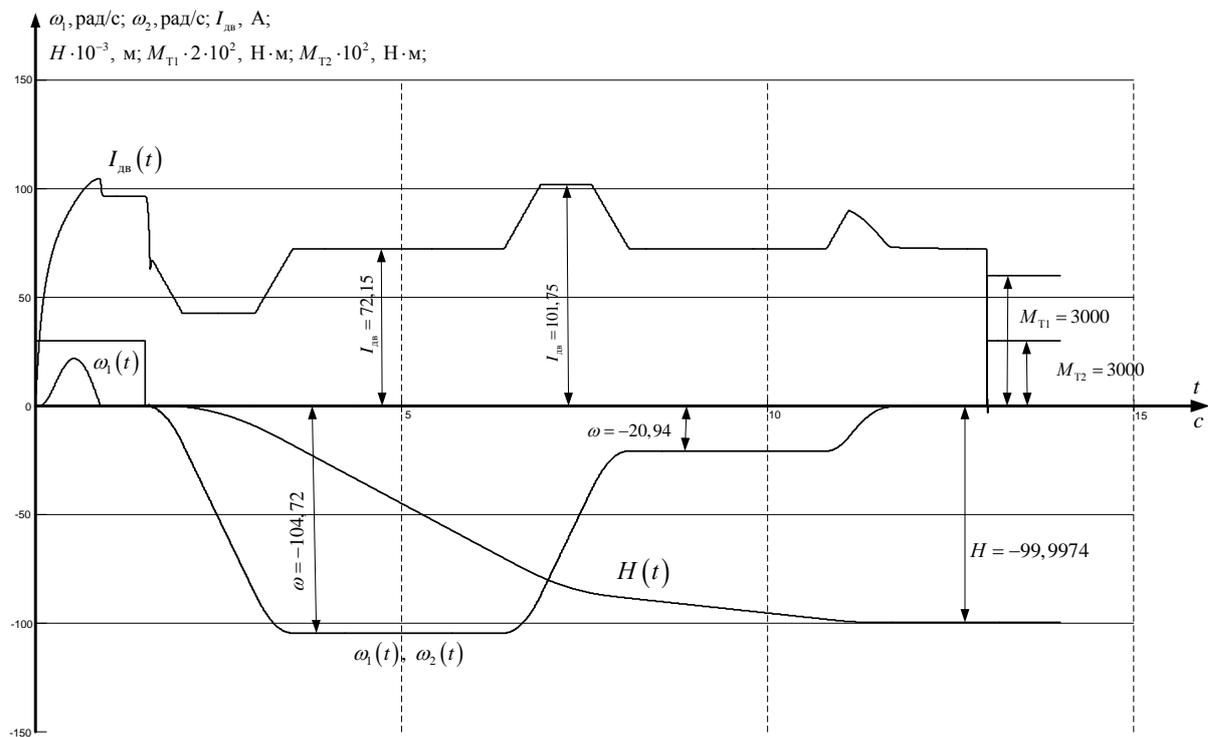


Рисунок 4.18 – Процесс спуска из верхнего положения при максимальном весе колонны

Процесс спуска осуществляется аналогично процессу подъема. Как можно увидеть по графикам в начальный момент времени происходит натяжение канатов. Далее электропривод выходит на номинальную скорость, затем по мере приближения к заданному положению включается следящий контур, и скорость снижается до значения ограничения регулятора положения. Контур положения обеспечивает точную остановку в заданном положении. После остановки электропривода снимается статическое задание на ток $U_{ЗТС}$, блокируется регулятор скорости и накладываются тормоза M_{T1} и M_{T2} .

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что заданное положение обрабатывается полностью при спуско-подъемных операциях, ток якорной цепи не превышает номинальный, время разгона и торможения соответствует требованиям технологического процесса.

4.4.2. Исследование САУ дополнительного электропривода буровой лебедки в режиме подачи долота при бурении

В режиме регулятора подачи долота (РПД) изменяется структура САУ дополнительного электропривода буровой лебедки. Структурная схема САУ дополнительного электропривода в режиме регулятора подачи долота приведена на рисунке 4.19.

Возможно два режима работы вспомогательной лебедки в режиме бурения:

– задается значение момента двигателя (давление на буровой инструмент), скорость электропривода лебедки (скорость бурения) при этом будет определяться зависимостью ;

– задается скорость электропривода лебедки (скорость бурения), если окажется, что при этом момент двигателя (давление на буровой инструмент) превышает допустимое значение, то скорость привода снижается до значения , соответствующего предельной зависимости .

Программа исследований электропривода дополнительной лебедки в режиме бурения

1. Работа на подъем колонны труб. Удерживается колонна труб, производится выбор слабины канатов, натяжение канатов, создание удерживающего момента на валу второй массы в режиме заблокированного регулятора скорости.

2. Режим управления 1. Освобождается колонна труб, колонна удерживается лебедкой (канаты натянуты), при заблокированном регуляторе скорости уменьшается задание на входе контура тока до величины, обеспечивающей требуемое давление на буровой инструмент. Электропривод должен удерживать заданное давление, а скорость бурения будет зависеть от фактического сопротивления при бурении.

3. Режим управления 2. Освобождается колонна труб, колонна удерживается лебедкой (канаты натянуты), разблокируется регулятор скорости и на вход контура скорости подается задание требуемой скорости бурения (спуска колонны). Электропривод в процессе бурения должен опускать колонну с заданной скоростью или с меньшей скоростью, соответствующей предельной зависимости .

4. По результатам исследований принять решение о выборе варианта управления приводом лебедки в процессе бурения и проверить его работу.

Результаты исследований

I. Регулирование статического задания на ток $U_{ЗТС}$

Имитационная модель данного метода приведена на рисунке 4.20.

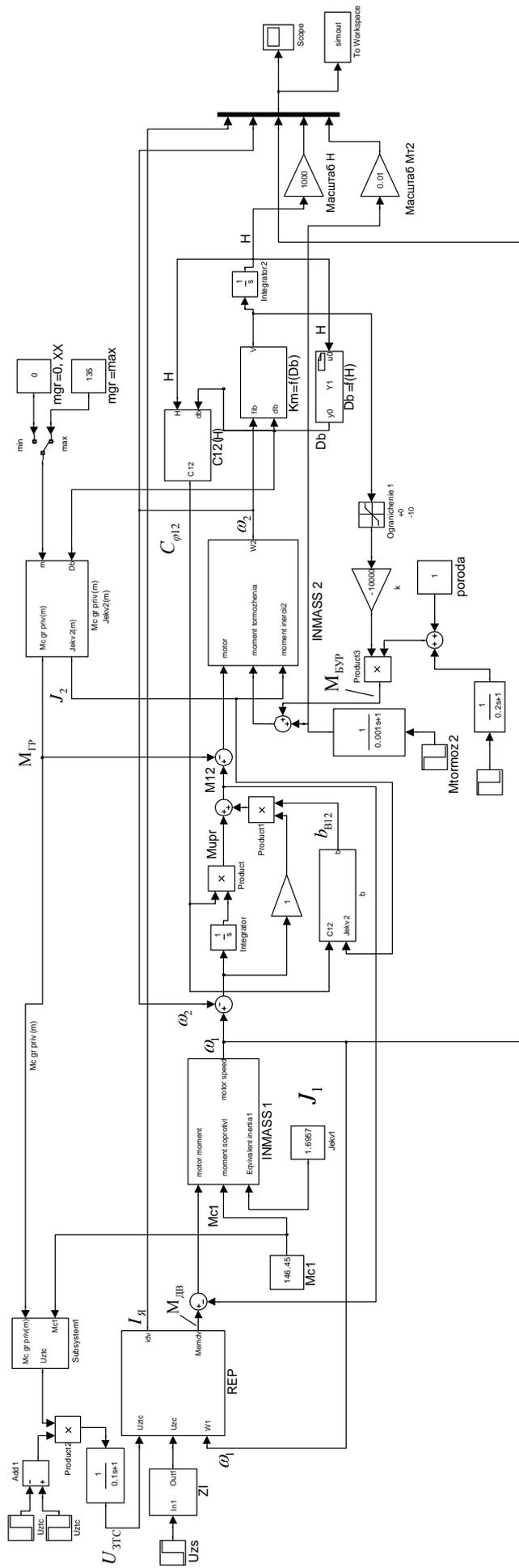


Рисунок 4.20 – Имитационная модель САУ дополнительного электропривода в режиме РПД при регулировании U_{z3c}

Результаты исследований приведены на рисунке 4.21.

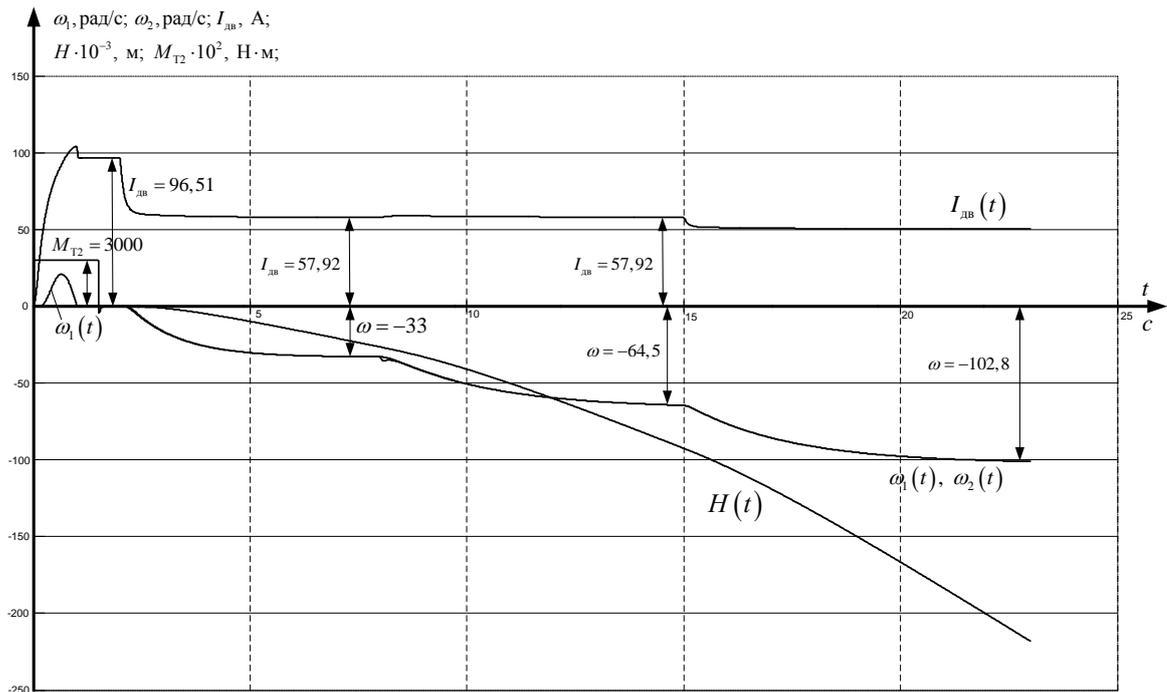


Рисунок 4.21 – Процесс бурения при регулировании $U_{\text{ЗТС}}$

На протяжении всего процесса бурения ПИ-регулятор скорости заблокирован. На участке от 0 до 1,5 с происходит натяжение канатов (первая скорость нарастает), т.к. вторая масса заторможена и подается статическое задание на ток $U_{\text{ЗТС}}$. В момент времени $t=1,5$ с сбрасывается тормоз со второй массы. Далее в момент времени $t=2$ с снижается статическое задание на ток $0,6U_{\text{ЗТС}}$, вследствие этого колонна начинает опускаться на забой и осуществляется процесс бурения, скорость устанавливается -33 рад/с. В момент времени $t=8$ с состав породы меняется с твердой на более рыхлую и за счет этого происходит увеличение скорости до -64,5 рад/с. В момент времени $t=15$ с т.к. порода рыхлая есть возможность бурения на более высокой скорости, поэтому статическое задание на ток увеличивает и скорость возрастает до -102,8 рад/с. Недостатком такого метода является то, что нельзя получить желаемой скорости бурения. Скорость бурения зависит от величины статического задания на ток $U_{\text{ЗТС}}$.

II. Регулирование задания на скорость $U_{\text{ЗС}}$

Имитационная модель данного метода приведена на рисунке 4.22.

Этот метод реализован с ПИ-регулятором с управляемым ограничением, которое зависит от статического задания на ток $U_{ЗС}$ ().

Результаты исследований приведены на рисунке 4.23.

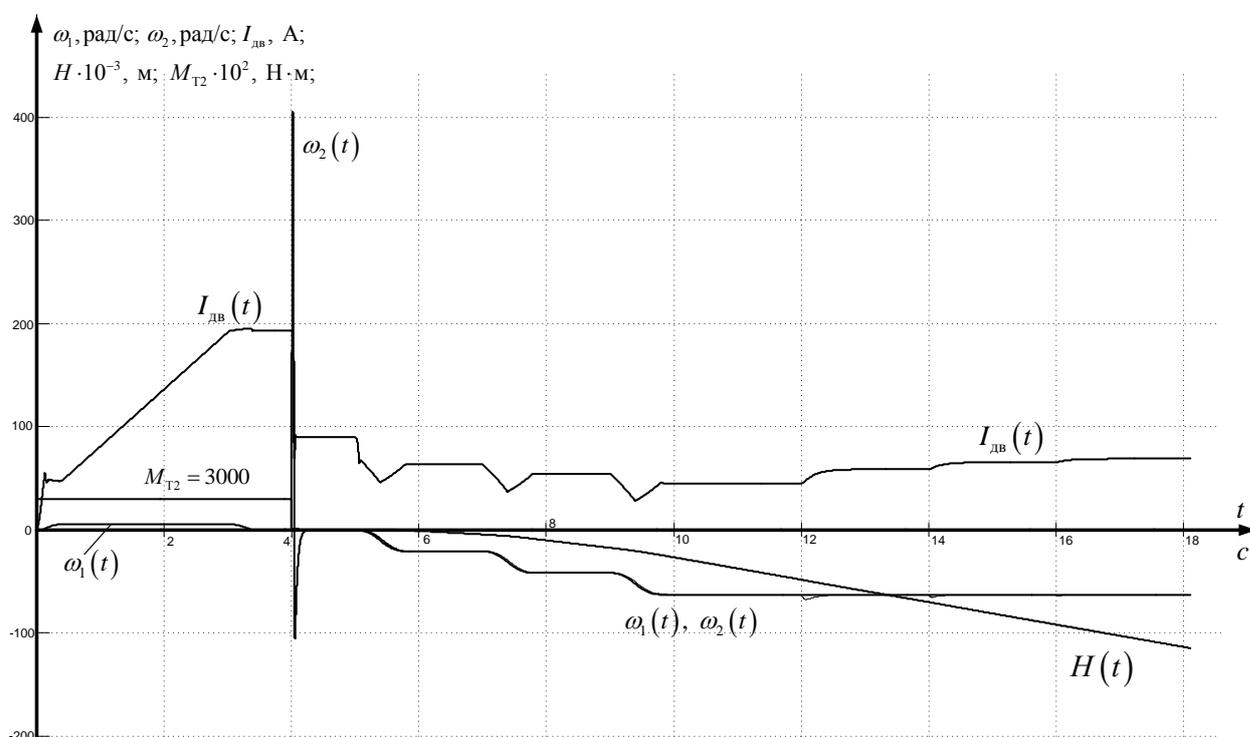


Рисунок 4.23 – Процесс бурения при регулировании $U_{ЗС}$

На протяжении всего процесса ПИ-регулятор скорости заблокирован, В начальный момент наложен тормоз на вторую массу M_{T2} и подано статическое задание на ток $U_{ЗС}$. Происходит натяжение канатов. В момент времени $t=4$ с сбрасывается тормоз со второй массы, в результате чего происходит скачкообразное изменение второй скорости из-за существующего момента трения. Далее в момент времени $t=5$ с подается задание на скорость $U_{ЗС}$ равное $2В$, в результате чего колонна начинает движение и скорость устанавливается соответствующая заданию $U_{ЗС}$. В последующем дважды увеличивается задание на скорость и скорость устанавливается соответствующая этим заданиям. В момент времени $t=10$ с состав породы меняется, но это не приводит к изменению скорости и процесс бурения продолжает протекать с постоянной скоростью.

Поскольку в первом методе мы не можем получить желаемой скорости бурения, а во втором методе после снятия тормоза происходит скачкообразное изменение скорости, то есть необходимость использования комбинированного метода. Он заключается в том, что в начальный момент времени ПИ-регулятор скорости заблокирован, а в момент после снятия тормоза со второй массы работает он с управляемым ограничением, которое зависит от статического задания на ток $U_{ЗТС}()$.

Результаты исследований приведены на рисунке 4.24.

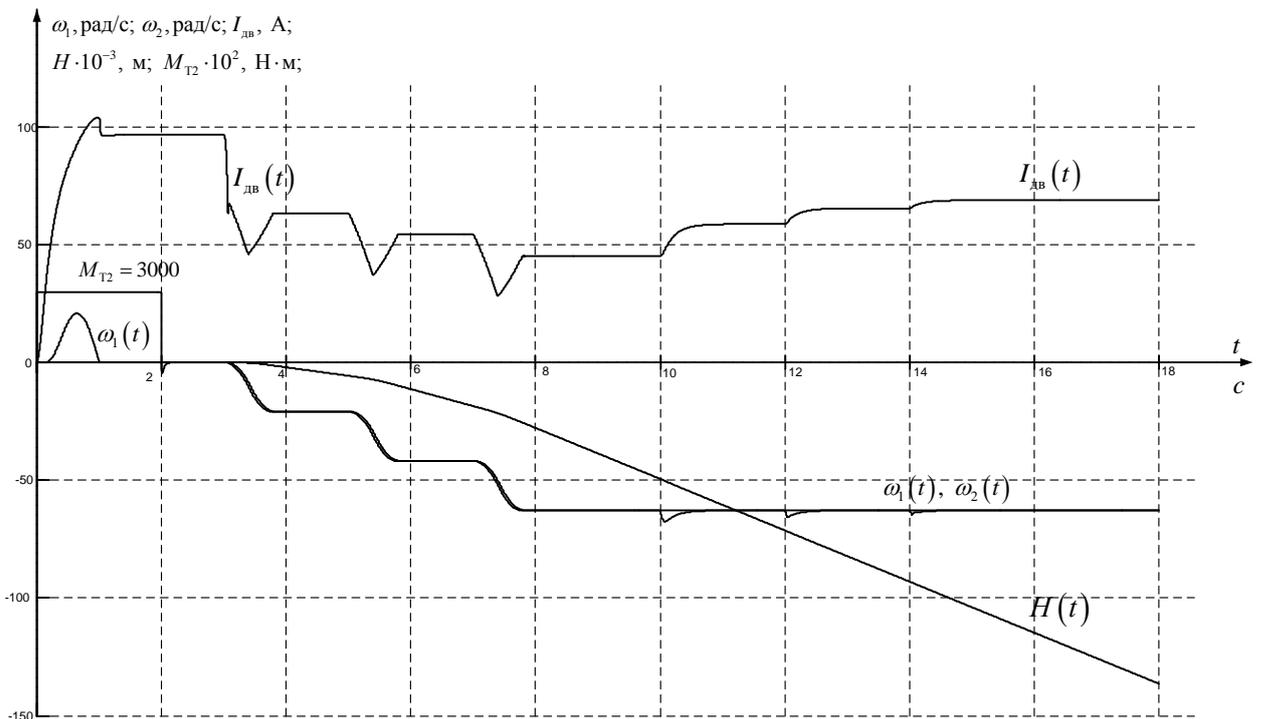


Рисунок 4.24 – Комбинированный метод

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что комбинированный метод осуществляет процесс бурения с возможностью получения желаемой скорости бурения, и так же не происходит скачкообразного изменения второй скорости, что соответствует требованиям технологического процесса.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Группа	ФИО
3-5Г3А2	Шакаров Шухрат Беркин угли

Школа	Инженерная школа энергетики (ИШЭ)	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

<i>1. Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	1. Для научно-исследовательского проекта необходимо три человека: руководитель проекта, инженер-программист и студент-дипломник. На ПНР было задействовано 4 человека. 2. Список литературы состоит из необходимых источников для данного раздела.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды – 30.2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Планирование и формирование бюджета</i>	2.1 Планирование научно-исследовательских работ. 2.2 Пусконаладочные работы. 2.3 Состав бригады для проведения ПНР. 2.4 Стоимость ПНР. 2.5 Расчет расходов при эксплуатации электропривода.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<i>1. График проведения ПНР</i>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А2	Шакаров Шухрат Беркин угли		

5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В предыдущих разделах разработан дополнительный привод буровой лебедки БУ 4500/270 ЭК-БМ (привод РПД). Данная установка предназначена для эксплуатационного и глубокого разведочного бурения нефтяных и газовых скважин глубиной до 4500 м забойными двигателями и роторным способом.

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

- парк буровых установок укомплектован на половину морально устаревшим оборудованием;
- существует тенденция удорожания бурового оборудования;
- отечественной промышленностью не выпускаются серийно необходимые буровые установки, что нередко приводит к нецелесообразности использования установок более тяжелых классов и в результате повышается стоимость бурения;
- большинство буровых установок выпускается в неполной комплектации, что в значительной мере приводит к снижению эффективности использования оборудования;
- низкая монтажно-спасательная способность и транспортабельность установок снижает эффективность ее использования.

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

Данный раздел посвящён анализу проведения бригадой пусконаладочных работ (ПНР) регулируемого электропривода буровой лебедки. Пусконаладочные работы при монтаже электроприводов и их установке являются завершающей стадией процесса строительно-монтажных работ. Качество проведения ПНР определяет бесперебойность работы, безопасность в обслуживании оборудования, максимальное

энергосбережение.

5.1 Структура пусконаладочных работ

Высокий уровень механизации и автоматизации производства, повышенные требования к электроприводам специального назначения, выпускаемых для нефтяной промышленности, увеличивают объем наладочных работ. Структуру пусконаладочных работ определяем исходя из сложности серийно-выпускаемых, освоенных промышленностью электротехнических устройств в соответствии с требованиями СНиП «Организация, производство и приемка работ», с требованиями «Правил устройства электроустановок», а также исходя из технических условий на изготовление и поставку электротехнических устройств.

В таблице 5.1 приведено содержание этапов ПНР

5.2 Распределение объёма и времени выполнения ПНР

Продолжительность работ определяется на основе нормативной базы вышеуказанного предприятия, при которой дается две оценки времени выполнения работ, исходя, из которых ожидаемое значение трудоемкости определяется по следующей формуле:[16]

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}$$

$t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения работы чел.-дн.

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

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

5.3 Выбор состава и численности бригады для проведения ПНР

Бригада наладчиков является специализированной бригадой и характеризуется профессиональным составом, работы проводятся в первую смену. На выполнение всех ПНР отведено 132 часа; в том случае, если бригада не укладывается в отведенные на ПНР часы, то работы проводятся во внеурочное время с оплатой труда такой же, как и в рабочее время. Проведение этих работ объясняется утвержденными сроками начала бурения скважины. Техника безопасности запрещает производить работы на оборудовании находящемся под напряжением. Состав и численность бригады определяется исходя из квалификации работников, а также сроков выполнения ПНР.

В данном случае бригада состоит из четырех человек:

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

Распределение работ среди членов бригады производится бригадиром в соответствии с профессиональной специализацией каждого. Продолжительность выполнения отдельных этапов работ определяется из профессионального опыта проведения аналогичных видов работ бригадой.

В таблице 5.2 приведены сроки исполнения ПНР

Таблица 5.2

Этап	Содержание работы	$t_{ожид}$, дни	Исполнители
1. Подготовительные работы	1.1 Организационная и инженерная подготовка работ	0,36	инженер первой категории; электронщик шестого разряда; электромонтер шестого разряда; электромонтер пятого разряда.

	1.2 Изучение электрической части проекта и ознакомление с технической документацией	0,54	инженер первой категории; электронщик шестого разряда; электромонтер шестого разряда; электромонтер пятого разряда.
	1.3 Подготовка приборов, приспособлений и комплекса форм протоколов	0,27	инженер первой категории; электронщик шестого разряда; электромонтер шестого разряда; электромонтер пятого разряда.
2. Монтаж электрооборудования	2.1 Внешний осмотр электрооборудования на предмет соответствия проекту	0,9	инженер первой категории; электронщик шестого разряда; электромонтер пятого разряда.
	2.2 Установка электрооборудования, сборка силовых цепей электропривода	2,45	инженер первой категории; электронщик шестого разряда; электромонтер шестого разряда; электромонтер пятого разряда.
	2.3 Сборка схемы сигнализации	1,09	инженер первой категории; электронщик шестого разряда; электромонтер шестого разряда; электромонтер пятого разряда.
3. Наладка электрооборудования под напряжением	3.1 Снятие и настройка необходимых характеристик и сопоставление их с расчетными данными проекта	1,18	инженер первой категории; электронщик шестого разряда; электромонтер шестого разряда; электромонтер пятого разряда.

	3.2 Испытание и наладка системы РЭП	2,63	инженер первой категории; электронщик шестого разряда; электромонтер шестого разряда; электромонтер пятого разряда.
4. Обеспечение на электроустановке электрических параметров и режимов, предусмотренных проектом, а также обеспечение устойчивой работы в эксплуатационных режимах	4.1 Оформление отчетной и приемно-сдаточной документации	1,27	инженер первой категории; электронщик шестого разряда; электромонтер шестого разряда; электромонтер пятого разряда.
	4.2 Оформление в одном экземпляре протоколов пуска наладочных работ и испытаний электропривода	0,72	инженер первой категории; электронщик шестого разряда; электромонтер шестого разряда; электромонтер пятого разряда.
	4.3 Внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта, данных измерений, выполненных в процессе пуска наладочных работ	0,54	инженер первой категории; электромонтер шестого разряда;
	Итого	12	

Распределение объёма и времени выполнения ПНР по этапам отражено в таблице 5.3.

Таблица 5.3

Члены бригады	Время выполнения работ по этапам, часы				Итого
	1	2	3	4	
Инженер (руководитель)	13	49	42	28	132

Электронщик шестого разряда	13	49	42	22	126
Электромонтер шестого разряда	13	39	42	28	122
Электромонтер пятого разряда	13	49	42	22	126

На основе вышеперечисленных этапов и сроков их исполнения построим график ПНР представленный на рисунке 5.1.

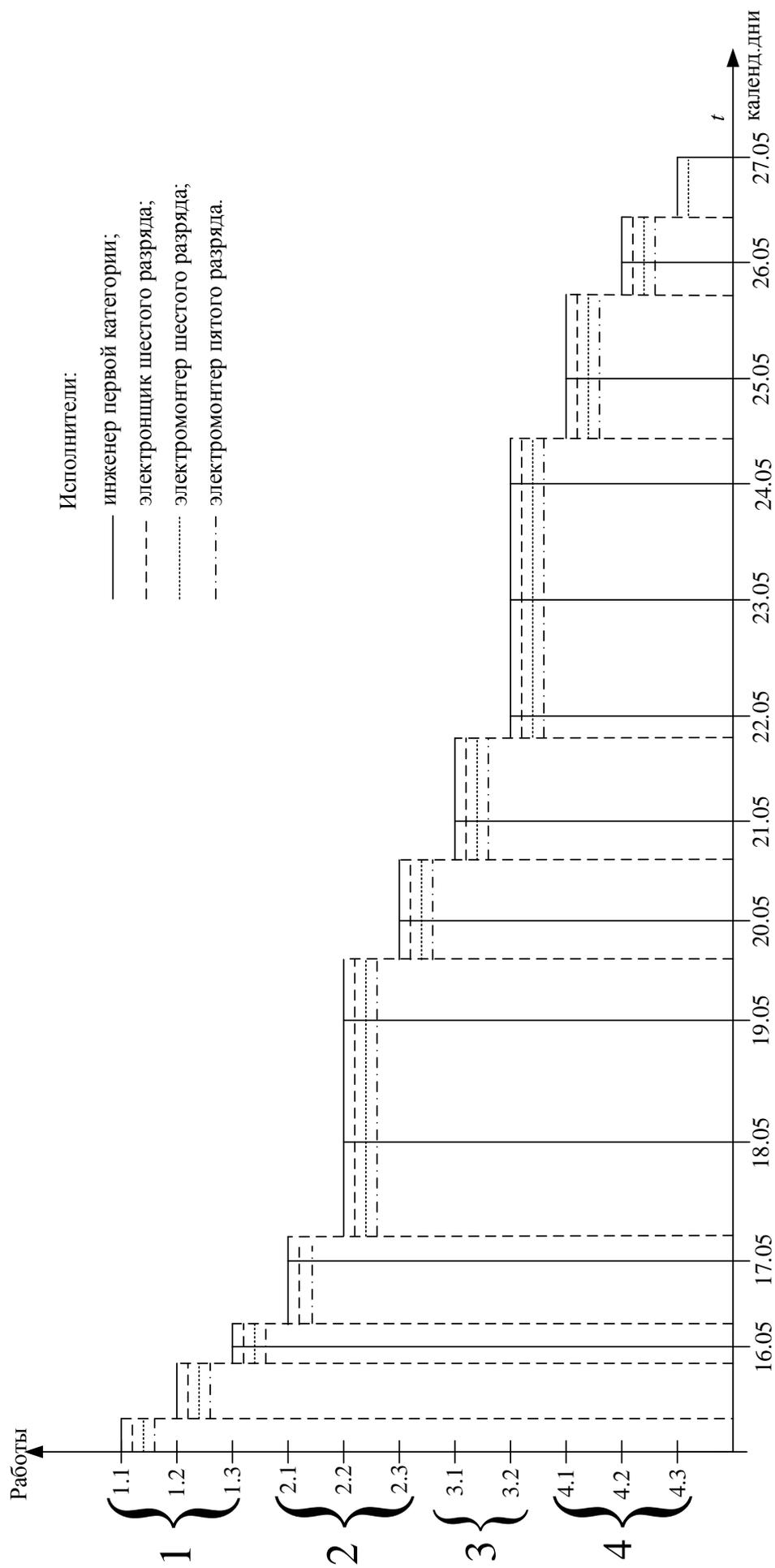


Рисунок 5.1 – График проведения ПНР

Таким образом, по графику видно, что руководитель (инженер-руководитель) работает на протяжении всего цикла ПНР. Остальные работники имеют некоторые перерывы в работе.

5.4 Определение сметной стоимости пусконаладочных работ

Расчёт сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат:

1. Материалы.
2. Оборудование.
3. Затраты на оплату труда работников.
4. Отчисления во внебюджетные фонды.(ОВФ)
5. Прочие прямые расходы.
6. Накладные расходы.

$$C_{\text{пол}}=M+C_{\text{об}}+ЗП+ОВФ+П_{\text{р}}+N_{\text{акл}}$$

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

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

Стоимость комплектующих и оборудования, необходимых для проведения пусконаладочных работ, рассчитываем в таблице 5.3.

Таблица 5.3

Наименование комплектующих	Стоимость, тыс. руб.
Двигатель постоянного тока, 90 кВт	325
Токоограничивающий реактор	67,850
Импульсный датчик	9,5
Блок защиты и сигнализации (комплект)	10
Тиристорный преобразователь (комплект)	231,7
Автоматический выключатель	1,2
Система защиты и сигнализации (комплект)	5
Потенциометрический командоаппарат	6,4
Итого за материалы	656,65
Транспортно-заготовительные работы (3%)	19,7

Расценки на пусконаладочные работы содержат основную и дополнительную заработную плату пусконаладочного персонала, рассчитанную на основе тарифных ставок, установленных для работников. Важнейший принцип определения заработной платы при бригадном методе работы - оценка реального трудового вклада каждого члена бригады в получение конечного результата.

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

- наличие в зоне работ действующего оборудования, коэффициент 1,1;
- выполнение ПНР в электротехнических установках, находящихся под напряжением, коэффициент 1,3;

- надбавка к ценам ПНР, районный коэффициент 1,3.

Таким образом, основная заработная плата составит:

$$Z_{осн} = T \cdot Ч \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3,$$

где T – тарифная ставка, руб.;

$Ч$ – количество отработанного времени, час;

$K_1=1,1$ – коэффициент, учитывающий наличие в зоне работ действующего оборудования;

$K_2=1,3$ – коэффициент, учитывающий выполнение ПНР в электротехнических установках, находящихся под напряжением;

$K_3=1,3$ – районный коэффициент.

Расчет основной заработной платы каждого члена бригады с учетом указанных значений коэффициентов сведен в таблицу 5.4.

Таблица 5.4

Состав бригады	Часовая ставка, руб./ч	Отработанные часы	Заработная плата, руб.
Инженер 1-ой категории	74,38	132	18251,95
Электронщик 6-го разряда	64,54	126	15117,46
Электромонтер 6-го разряда	64,54	122	14637,54
Электромонтер 5-го разряда	59,75	126	13995,48
Итого			62002,43

Дополнительная заработная плата производится на оплату отпусков за не проработанное время и составляет 10% от основной заработной платы

$$Z_{доп} = 0,1 \cdot Z_{осн} = 0,1 \cdot 62002,43 = 6200,24 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды составляет 30.2% от основной и дополнительной заработной платы

$$C_{отч} = (Z_{осн} + Z_{доп}) * 0,302 = (62002,43 + 6200,24) * 0,302 = 205,97$$

Накладные расходы составляют 60% от основной заработной платы

$$Накл = Z_{осн} \cdot 0,6 = 62002,43 \cdot 0,6 = 37201,45 \text{ руб.}$$

Прочие затраты составят 2% от основной заработной платы

$$Пр = Z_{осн} \cdot 0,02 = 62002,43 \cdot 0,02 = 1240,04 \text{ руб.}$$

Расходы на комплектующие материалы составят 5% от основной зарплаты

$$P_{км} = Z_{осн} \cdot 0,05 = 62002,43 \cdot 0,05 = 3100,12 \text{ руб.}$$

Сметная стоимость на проведение пусконаладочных работ регулируемого электропривода представлена в таблице 5.5.

Таблица 5.5

1	Оборудование и комплектующие изделия	676 350
2	Материалы	3 100,12
3	Основная заработная плата	62 002,43
4	Дополнительная заработная плата	6 200,24
5	Отчисления во внебюджетные фонды	205,97
6	Накладные расходы	37 201,45
7	Прочие расходы	1 240,04
Итого		803 826,97

В данном разделе были рассмотрены мероприятия необходимые для введения в эксплуатацию дополнительного электропривода подъемной лебедки буровой установки, определена сметная стоимость на

пусконаладочные работы, проводимые бригадой. Таким образом, стоимость ПНР составляет 803 826,97 руб., в т.ч. 676 350 руб. составляет стоимость монтируемого оборудования.

Весь комплекс работ разбит на отдельные этапы и определено время выполнения каждого этапа пусконаладочных работ. Согласно полученным данным был построен линейный график проведения пусконаладочных работ, а также составлена сметная стоимость.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Группа	ФИО
3-5Г3А2	Шакаров Шухрат Беркин угли

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Дополнительный электропривод подъемной лебедки буровой установки Буровой лебедки предназначено для управления лебедкой в спуско-подъемных операциях, подачи долота при бурении, подъеме и опускании вышки.</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

	2)Образование отходов, связанных с заменой комплектующих разрабатываемого оборудования, образование золоотвалов
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее типичная ЧС для рассматриваемого цеха – пожар. -по необходимо оснащению (первичные средства пожаротушения пожарная сигнализация ,система автоматического пожаротушения); -инструкции по пожарной безопасности для работников -план эвакуации работников при пожаре
4. Правовые и организационные вопросы безопасности.	Разработка организационных мероприятий для безопасной работы электротехнического персонала.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А2	Шакаров Шухрат Беркин угли		

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Исследуемый в проекте электропривод буровой установки БУ 4500/270 ЭК-БМ на базе нереверсивного тиристорного преобразователя предназначен для управления подъемной лебедки в процессе бурения и эксплуатации скважин. В буровой установке используются электроустановки как низкого напряжения (до 1000 В) так и высокого (выше 1000 В).

С целью поддержания системы регулирования в исправном и работоспособном состоянии на протяжении всего срока эксплуатации, предусмотрены следующие мероприятия:

- периодические осмотры устройства регулирования, оперативным персоналом один раз за смену;
- регулировочные мероприятия и осмотр устройства управления, оперативно-ремонтным персоналом еженедельно;
- техническое обслуживание два раза в год;
- текущий ремонт один раз в год.

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

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

6.1 Анализ опасных и вредных факторов

Буровые установки являются объектами повышенной взрывопожароопасности: при проведении технологических процессов применяются горючие жидкости (дизельное топливо, нефть и др.). Во время

проходки продуктивных горизонтов возможно наличие природного газа под полом буровой и в насосной. Одновременно многие части оборудования (коммутационные электрические аппараты, коллекторы электродвигателей, бурильные трубы, тормозные колодки), атмосферное (разряды молнии) и статическое электричество (возникающее, например, при движении горючих жидкостей или пара по трубопроводам) могут явиться источником воспламенения горючих смесей.

Возможные опасные факторы при ведении буровых работ:

- а) опасность поражения электрическим током;
- б) выполнение спускоподъемных операций (СПО);
- в) наличие вращающихся агрегатов.

Возможные вредные факторы при ведении буровых работ:

- а) неблагоприятные климатические условия;
- б) шум и вибрации;
- в) работа ведется круглосуточно и поэтому освещенность рабочих мест не всегда удовлетворительна.

6.2 Техника безопасности

В соответствии с классификацией помещений по электроопасности [22], помещения буровой относятся к особо опасным помещениям. Проектируемый привод является электроустановкой до 1000 В, а работы, связанные с ремонтом и обслуживанием этого электропривода, не исключают как возможности поражения электрическим током персонала, так и возможности получения механической травмы. Поэтому соблюдение правил техники безопасности является важнейшей обязанностью как самого обслуживающего персонала, так и лиц, организующих эти работы. Основными мерами защиты при эксплуатации электроустановок являются:

- привитие работающим навыков безопасной эксплуатации электрооборудования;
- использование токов низкого напряжения (12-36В);

- использование высоких частот;
- контроль и профилактика повреждений изоляции;
- обеспечение недоступности токоведущих частей;
- использование защитного заземления и зануления;
- использование защитного отключения;
- применение средств защиты и предохранительных приспособлений.

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

Конструктивные недостатки отдельных элементов бурового оборудования отчасти устраняются заводами-изготовителями в современных установках.

6.3 Производственная санитария

Защита работающих от неблагоприятных климатических условий, а в частности от избыточного тепла и холода достигается с помощью специализированной одежды, обуви, рукавиц и головных уборов. Наряду с этим прошла испытания и внедряется система обогрева буровых теплым воздухом в холодное время года, также для жаркого времени года широкое применение начинают получать агрегатные неавтономные кондиционеры, укомплектованные средствами автоматического регулирования и дистанционного управления.

При наличии производственного шума, превышающего допустимые санитарные нормы, и вибрации оборудования должны проводиться технические мероприятия по ограничению воздействия этих вредных факторов на рабочих.

Расположение аппаратуры в производственных помещениях, а также трубопроводов должно обеспечивать удобство их обслуживания, ремонта и

осмотра. Производственные помещения и рабочие места следует содержать в чистоте. Полы должны быть ровными и удобными для очистки и ремонта.

В производственных и подсобных помещениях должны быть приняты меры к максимальному использованию естественного освещения. Окна должны быть полностью остеклены и содержаться в чистоте.

Производственные помещения должны оборудоваться естественной механической или смешанной вентиляцией, создающей требуемые условия воздушной среды в соответствии с СНиП2.04.05-86, ВНТП 3-85.

Допустимые уровни шума на постоянных рабочих местах приводятся [14] в зависимости от частоты, характера шума и категории рабочего места (кабины наблюдений, помещения управления, постоянные рабочие места и т. д.). В таблице 6.2 приведены допустимые уровни шума.

Таблица 6.2 - Допустимые уровни шума для

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

Согласно [12] предусмотрено несколько мероприятий для снижения шума до значений, не превышающих допустимые: технические средства борьбы с шумом (уменьшение шума машин в источнике); строительно-акустические; дистанционное управление шумными машинами; использование средств индивидуальной защиты; организационные (выбор

рационального режима труда и отдыха, сокращение времени нахождения в шумных условиях, лечебно-профилактические и другие мероприятия).

В процессе монтажа и эксплуатации оборудования особое внимание необходимо обратить на его балансировку, крепление и устройство фундаментов. Эффективность различных мероприятий по борьбе с шумом приведена в таблице 6.3.

Таблица 6.3

Мероприятия	Снижение уровня шума (дБ) в диапазонах частот	
	низких	высоких
Звукоизоляция шумного оборудования установкой в отдельное помещение	25-35	50-60
Звукоизоляция кожухами	5-15	20-40
Виброизоляция пружинными амортизаторами	22-30	15-20
Виброизоляция прокладками и вставками	<5	<15

Различают следующие методы борьбы с вибрациями:

- подавление в источнике возникновения;
- отстройка от режима резонанса изменением массы и жесткости вибрирующих конструкций или установлением нового рабочего режима;
- вибродемпфирование, т.е. превращение энергии механических колебаний в другие виды энергии при помощи материалов с большим внутренним трением (пластмасс, резины дерева);
- виброгашение;
- виброизоляция - в виде пружинных или резиновых опор.

Как и в борьбе с шумом, основной мерой при борьбе с вибрацией является подавление ее в источнике возникновения. Для этого необходимо совершенствовать существующие кинематические схемы (заменять цепные передачи карданными, ударные взаимодействия безударными и др.), тщательно центрировать устанавливаемые механизмы, устранять биения валов, муфт, своевременно крепить резьбовые и прочие соединения.

Индивидуальными средствами защиты от вибраций являются рукавицы с вкладышами из пенопласта, поролона, обувь с прокладками из виброизолирующих материалов.

Современные нормы освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях [22] составлены в зависимости от точности зрительной работы, наименьшего размера объекта различия, контраста объекта различения с фоном и характеристики фона. Чем меньше объект (деталь, риска, трещина), который приходится различать в процессе работы, чем меньше контраст (т.е. разница в светлоте тонов) между объектом и фоном, и чем темнее фон, на котором находится данный объект, тем выше норма освещенности рабочей поверхности.

Технологические методы нормализации воздуха рабочей зоны должны исключать или резко ограничивать процессы и операции, сопровождающиеся выбросом в рабочую зону вредных газов, паров, аэрозолей. Так, на некоторых буровых предприятиях организованы централизованное изготовление промывочных жидкостей на специальных заводах и доставка их на буровые. В процессе использования таких жидкостей в них добавляют некоторые стабилизирующие реагенты или постепенно заменяют их поставляемыми с завода.

6.4 Пожарная безопасность

Буровые установки относятся к категории А [15]. Категория производства по степени опасности поражения молнией - II. Класс взрывопожароопасной зоны по ПУЭ - В-Iг (наружные установки, где возможно образование паро- и газовоздушных взрывоопасных смесей при неисправностях и авариях).

На стадии проектирования БУ, учитываются требования соответствующих нормативных документов, регламентирующих меры пожарной профилактики. К таким документам относятся: СНиП «Противопожарные требования. Основные положения проектирования», СНиП «Производственные здания промышленных предприятий. Нормы

проектирования», ПТУСП («Противопожарные технические условия строительного проектирования») предприятий нефтегазодобывающей промышленности, «Правила пожарной безопасности в нефтяной промышленности», нормы и правила устройства производственной

Пребывание в горящем здании людей не принимающих непосредственного участия в тушении пожара и лишенных средств защиты, становится опасным уже при температуре окружающей среды выше 60°C, при задымленности, затрудняющей ориентирование в пространстве, снижении содержания кислорода в помещении до 17 - 18%, поэтому люди должны иметь возможность эвакуироваться из здания. Ниже на рисунке 6.1 представлен предполагаемый план эвакуации с рабочей площадки буровой установки.

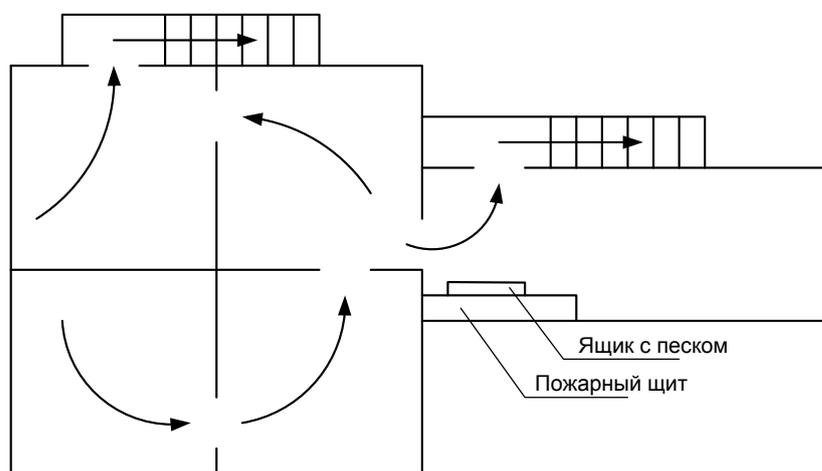


Рисунок 6.1 – Предполагаемый план эвакуации с рабочей площадки буровой установки

На буровых объектах, согласно [3], необходимо иметь огнетушители химические пенные ОХП-10 (6 шт.) ломы, топоры и багры (по 2 шт.), лопаты и ведра (по 4 шт.), 4 ящика для песка объемом по 0,5 м³ каждый. В случае необходимости число перечисленных средств может быть увеличено.

6.5 Охрана окружающей среды

Сырая нефть и природный газ являются экологически опасными веществами; попадая в воздух, воду, почву они наносят огромный ущерб всему живому. Действие на организм паров сырой нефти непостоянно и

зависит от её состава. Пары сырой нефти малотоксичны. Большее воздействие оказывает соприкосновение с жидкой нефтью кожи человека, вследствие чего могут возникать дерматиты и экземы.

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

На рассматриваемой буровой используется обваловка каждого куста-скважины добычи нефти. При аварийной ситуации, при попадании в почву нефти используются установки для очистки почвы от нефтяных примесей.

Контроль за состоянием природной среды организуется службами (отделами, ответственными за охрану окружающей среды инженерами) предприятием и его подразделениями, осуществляется контроль методом приборных измерений лабораториями подразделений.

Промысловые объекты и установки, технологический процесс в которых связан с выделением газа, копоти, пыли и других вредных веществ, следует располагать по отношению к жилому району с подветренной стороны с учетом господствующего направления ветра и отделять от границ жилых районов санитарно-защитными зонами (разрывами).

Сбор, хранение и утилизация отходов производства. Отходы подразделяются на промышленные (нефтешламы, масла, резина, ветошь и др.) и бытовые отходы (от жизнеобеспечения человека: столовые, вагончики-бытовки и др.). Отходы должны сортироваться и собираться по видам и классу

опасности в контейнеры, которые находятся на специальных площадках. Отходы учитываются и сдаются на полигоны и свалки для утилизации или захоронения. Отходы бурения (буровой шлам, буровые сточные вода, отработанный буровой раствор) размещается в шламовый амбар, специальное сооружение для размещения и утилизации отходов бурения расположенное на землях краткосрочного пользования. Жидкая фаза отходов бурения утилизируется в систему нефтесбора, шламовый амбар рекультивируется либо методом ликвидации, либо методом лесной рекультивацией (посадка саженцев древесных растений). Земли сдаются в Гослесфонд. Размещение и сброс других видов отходов и технологических жидкостей в шламовый амбар запрещен и считается экологическим правонарушением, за которое на виновника налагается административный штраф, рассчитывается ущерб и сверхлимитные платежи. Для сбора нефти с загрязненных мест имеется различное нефтесборное оборудование, начиная с откачивающих агрегатов до зарубежной техники - нефтесборщики различных принципов действия. Для утилизации существуют установки по переработке нефтешламов, нефтезагрязненных грунтов в НГДУ и СУХТП.

Заключение

В выпускной квалификационной работе спроектирован и исследован электропривод регулятор подачи долота подъемной лебедки буровой установки БУ-4500/270 ЭК-БМ. Выбраны элементы и рассчитаны параметры силовой цепи, выполнен синтез и оптимизация контуров регулирования, определены параметры настройки электропривода. С помощью программы MatLab проведены имитационные исследования основных режимов работы привода. Анализ полученных результатов подтвердил соответствие показателей качества ожидаемым. Кроме того в работе проанализировано влияние основных нелинейностей системы на динамику электропривода.

На основании приведённых исследований и расчетов показано, что спроектированный электропривод удовлетворяет требованиям технического задания и может быть использован в качестве электропривода регулятора подачи долота подъемной лебедки буровой установки.

Экономическая часть работы посвящена анализу проведения бригадой пусконаладочных работ (ПНР) регулируемого электропривода буровой лебедки: определена структура и этапы проведения ПНР, произведен выбор состава и численности бригады для проведения ПНР, а также рассчитана сметная стоимость ПНР.

Conclusion

In the graduation work was projected and researched the controller of hoisting drawworks' bit feeding for the drilling rig DR 4500/270 EK-BM; were chosen elements and calculated parameters of powered chain; were made synthesis and optimization of control loops; were defined adjustment parameters of the electric drive. The imitative research of the essential regimes for the drive's work was carried out with the help of the program MatLab. The analysis of all the results confirmed the correspondence of quality and expected parameters. Besides there is the analysis of influence on the essential system's non-linearity on the electric drive.

In accordance with represented researches and calculations the projected electric drive fits with technical tasks' demands and can be used as controller of hoisting drawworks' bit feeding for the drilling rig.

The economic part of this work is devoted to the analysis of starting-up and adjustment works implemented by a brigade for controlled electric drive of drawworks. In this part the structure and phases of starting-up and adjustment works are determined; the composition and quantity of the brigade were chosen; the budget value of starting-up and adjustment works was also calculated.

Ecological, safety, electrical safety issues, problems of industrial sanitary and fire safety during the amounting, adjustment and maintaining were also explored in this graduation work.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

2. Документация по обслуживанию электропривода лебедки буровой установки БУ 2900/200 ЭПК-БМ
4. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник/ И.Х.Евзеров и др.; под ред. В.М.Перельмутора. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 319с.
5. Тарабин Б.В., Лунин Л.Ф., Смирнов Ю.Н. Интегральные микросхемы: Справочник. - М.: Энергоиздат, 1985. - 528 с.
6. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. - Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. - Оптимизация контура регулирования. - Томск: Изд.ТПУ, 2000. - 144с.
7. Броун С.И., Хоботько В.И. Программированное руководство по безопасному ведению буровых работ. - М.: Недра, 1978.
8. С.И. Броун. Охрана труда в бурении. - М.: Недра, 1981.
9. Правила безопасности в нефтегазодобывающей промышленности. Изд.2. - М.: Недра, 1975.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ) и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТБ). - М.: Атомиздат, 1972.
11. Техника безопасности в нефтяной промышленности. - Труды ВНИИТБ, вып. XIX - XXVII, 1970 - 1977.
12. Система стандартов безопасности труда. Сборники ГОСТов. 4 тома. - М.: издательство стандартов, 1971.
13. Охрана труда в машиностроении. Под редакцией Е.Я. Юдина. - М.: Машиностроение, 1983.
14. Противопожарные требования. Основные положения проектирования СНИП /П-А.5-70.-М.:1971.
15. Методическое пособие для расчета вибрации. - Т.: ТПУ Д989.
16. Панов Г. Е., Броун С. И. Охрана окружающей среды в нефтегазодобывающей промышленности. - М.: ВНИИОЭНГ, 1988.
17. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П, Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч.3. Электрические машины постоянного тока в системах автоматизированного электропривода: Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 152 с.
18. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П, Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч.4. Тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 152 с.

19. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П, Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч.5. Применение программы DORA-FUZZY для имитационного моделирования автоматизированных электроприводов: Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 144 с.

19. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П, Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч.6. Механическая система электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 144 с.

20. Справочник по автоматизированному электроприводу/ Под ред. В.А.Елисеева и А.В.Шинянского.- М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.

21. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами/ Под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 416 с.

22. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1986, 648 с.

23. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. – М.: Стройиздат, 1996.

24. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.