

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт ЭНИН Направление подготовки Электроэнергетика  
и электротехника Кафедра ЭПЭО

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы

**АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД БУРОВОГО НАСОСА**

УДК

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Б	Лопиков Максим Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Суворкова Е. Е.			

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Дашковский А.Г.	д.т.н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой	Дементьев Ю. Н.	к.т.н.		

Томск – 2016 г.

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

Институт ЭНИН Направление подготовки (специальность) Электроэнергетика  
 и электротехника Кафедра ЭПЭО \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ:  
 Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2Б	Лопачов Максим Владимирович

Тема работы:

<b>АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД БУРОВОГО НАСОСА</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы :

16.06.2015

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Асинхронный электропривод бурового насоса.                  Режим работы продолжительный.</p> $Q = 0.6 \text{ м}^3/\text{с}, \eta = 0.6, \rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ $n_{\text{ном}} = 1430 \text{ об/мин}, H = 21 \text{ м.}$
--	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Расчёт статических и динамических характеристик для разомкнутой системы регулируемого электропривода. Выбор оборудования. Расчет параметров АД. Разработка имитационной модели регулируемого электропривода бортового насоса.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов )</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Трофимова М. Н.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Дашковский А.Г.</p>

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Суворкова Е.Е.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Б	Лопаков Максим Владимирович		

## РЕФЕРАТ Выпускная квалификационная

работа содержит 106 страниц, 41 рисунок,  
25 таблиц, 24 источника.

Ключевые слова: АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, БУРОВОЙ НАСОС.

Цель работы – расчёт и выбор силового оборудования, расчёт статических и динамических характеристик для разомкнутой системы регулируемого электропривода, расчёт параметров структурной схемы, разработка функциональной схемы.

В работе произведен выбор асинхронного двигателя (АД), преобразователя частоты и способа управления скоростью АД.

Сделан расчет параметров двигателя, преобразователя, механической системы электропривода машины, предельных характеристик, произведен выбор электрического оборудования.

С помощью имитационной модели в MATLAB проведено исследование АД, получены переходные характеристики.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007 с использованием пакетов: Microsoft Visio 2010, Microsoft Excel 2010, MATLAB R2011a, Mathcad 13, Microsoft Paint и представлена на бумаге формата А4.

## Содержание

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>7</b>
<b>1. РАСЧЕТ И ВЫБОР СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА</b> .....	<b>10</b>
1.1. Расчет мощности двигателя и предварительный его выбор.....	10
<b>1.2. Выбор преобразовательного устройства для регулирования электропривода</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3 Расчет и выбор основных силовых элементов системы регулируемого электропривода</b> .....	<b>17</b>
1.4. Выбор аппаратуры управления и защиты .....	21
1.5. Расчет и выбор типа и сечения кабеля сети высокого напряжения и вспомогательного оборудования .....	22
1.6. Определение расхода электроэнергии за цикл работы, среднецикловых значений КПД и коэффициента мощности .....	23
<b>2. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА</b> .....	<b>25</b>
<b>2.1. Расчет Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя</b> .....	<b>25</b>
2.2. Расчет электромеханических переходных характеристик $w = f(t)$ и $M = f(t)$ пуске, набросе и сбросе нагрузки при мгновенном изменении задания.....	37
<b>4. Производственная безопасность</b> .....	<b>46</b>
<b>4.1 Описание технологического процесса и рабочего места</b> .....	<b>46</b>
<b>4.2 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению</b> .....	<b>47</b>
4.2.1 Микроклимат .....	48
4.2.2 Шум и вибрация.....	50
<b>4.5 Предотвращение ЧС и устранение их последствий</b> .....	<b>57</b>
<b>4.6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b> .....	<b>59</b>
4.7. Расчет заземления .....	60

<b>5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	<b>64</b>
<b>5.1. SWOT-анализ проекта</b>	<b>64</b>
<b>5.2. Планирование научно-исследовательских работ</b>	<b>67</b>
<b>5.2.1. Структура работ в рамках научного исследования</b>	<b>67</b>
<b>5.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ</b>	<b>68</b>
<b>5.2.3. Разработка графика проведения научного исследования</b>	<b>70</b>
<b>5.2.4. Расчет материальных затрат НИИ</b>	<b>74</b>
<b>5.2.5. Основная заработная плата исполнителей темы</b>	<b>76</b>
<b>5.2.6. Дополнительная заработная плата исполнителей темы</b>	<b>79</b>
<b>5.2.7. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)</b>	<b>80</b>
<b>5.2.8. Накладные расходы</b>	<b>81</b>
<b>5.2.9. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта</b>	<b>81</b>
<b>5.3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</b>	<b>82</b>
<b>Заключение</b>	<b>86</b>
<b>Список литературы</b>	<b>87</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Буровой насос — это насос, который используется в установках бурения для того, чтобы обеспечить циркуляцию бурового раствора в скважине. Для промывания применяется высокое давление, создаваемое буровым насосом. Буровой насос можно условно классифицировать по двум типам: двухцилиндровый и трёхцилиндровый. Главное назначение бурового насоса - обеспечение циркуляции бурового шлама и недопущение его осаждения в ходе бурения, а также подъём разбуриваемой породы на поверхность.

Буровые насосы предназначены для нагнетания промывочной жидкости в скважину. Данная жидкость используется для очистки забоя и ствола от выбуренной породы и выноса её на поверхность; охлаждения и смазки долота; создания гидромониторного эффекта в ходе бурения струйными долотами; приведения в движение гидравлических двигателей.

Учитывая применение и условия эксплуатации насосов для бурения, к ним предъявляются нижеприведенные требования:

- необходимость регулирования подачи насоса в пределах, для обеспечения эффективной промывки скважины;
- для промывки скважины и работы забойных гидравлических двигателей должна быть обеспечена достаточная мощность насоса и их количество;
- необходимость обеспечения равномерности скорости прохождения промывочной жидкости на выходе из насоса, с целью исключения инерционных нагрузок и пульсаций давления, которые могут повлечь сложности в работе, а также добавочные затраты энергии и усталостные разрушения;
- обязательность приспособления насосов в работе с абразиво- и маслосодержащими коррозионно-активными промывочными растворами;
- узлам и деталям, имеющим контакт с промывочным раствором, полагается иметь достаточную долговечность и быть приспособленными к практической и быстрой замене при необходимости;
- необходимость оснащения крупногабаритных узлов и деталей

для надежной сцепки и транспортирования при ремонте и тех- обслуживании;

- необходимость защиты от раствора промывки узлов и деталей приводной части, а также их доступность для проверки и технического обслуживания;

- обязательным требованием является их приспособление к транспортированию в собранном виде на дальние и близкие расстояния, а также перемещению волоком в пределах буровой;

- в конструкции насосов необходимо учесть возможность правостороннего и левостороннего расположения приводных двигателей;

- надежность и живучесть насоса должны сочетаться с их экономической эффективностью, а также эксплуатационной безопасностью.

Для центробежного насоса из основных частей можно выделить: корпус 6 со всасывающим и нагнетательным патрубками, 1 и 3 - соответственно. Внутри корпуса располагается рабочее колесо 4, жестко установленное на валу 2. В корпусе вокруг рабочего колеса смонтирован направляющий аппарат 5.

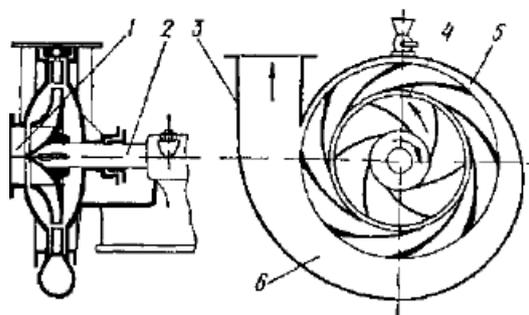


Рисунок 1 – Схематическое изображение центробежного насоса

Патрубки в корпусе служат для подведения жидкости к рабочему колесу и для отведения после её взаимодействия с рабочим колесом. Во время вращения колесо начинает воздействовать лопастями на жидкость, при этом, создавая поле центробежных сил из-за энергии двигателя внутри насоса.[1]

непосредственно воздействует на жидкость, а также создает внутри насоса поле центробежных сил за счет энергии двигателя.[1]

# 1. РАСЧЕТ И ВЫБОР СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В данном разделе рассчитана мощность электродвигателя механизма бурового насоса, исходя из этого выбран двигатель по каталогам, определён тип управления им и выбран подходящий преобразователь частоты, произведен расчет и выбор аппаратуры управления и защиты, выбран кабель сети высокого напряжения и рассчитаны энергетические показатели электропривода.

## 1.1. Расчет мощности двигателя и предварительный его выбор

Основным критерием выбора двигателя является мощность. Номинальная мощность выбранного двигателя должна быть больше чем мощность, рассчитанная по исходным данным. Исходные данные к работе приведены в таблице 1.

Таблица 1- Исходные данные к работе

Производительность, м <sup>3</sup> /с	Напор, м	Скорость вращения вала насоса, об/мин	КПД	Плотность перекачиваемой жидкости, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент запаса
0,6	21	1430	0,6	1000	1,1

По формуле определим необходимую расчетную мощность, для дальнейшего выбора оборудования (насос, двигатель, ПЧ)

$$P = K_z \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta} = 1,1 \cdot \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,6 \cdot 21}{1000 \cdot 0,6} = 226.611 \text{ кВт}$$

$$P_H \geq P_{расч} = 226.611 \text{ кВт}$$

## Выбор Двигателя

Из каталога выбираем двигатель АИР355S4 имеющий следующие параметры:



Рисунок 2 - Внешний вид асинхронного двигателя АИР355S4

Таблица 2 – Техническая характеристика электродвигателя[3]

$P_{\text{ном}}$ , кВт	$n_{\text{ном}}$ , об/мин	КПД, %	Коэф. Мощности	$I_{\text{ном}}$ , А	$M_{\text{пуск}}/ M_{\text{ном}}$	$I_{\text{пуск}}/ I_{\text{ном}}$	$M_{\text{макс}}/ M_{\text{ном}}$	$J$ , кг·м <sup>2</sup>
250	1480	0,953	0,9	442	2,1	6,9	2,2	6,5

Таблица 3-Габаритные размеры, мм

d24	h31	130
800	1010	1560

Таблица 4-Установочные и присоединительные размеры, мм

Тип	$l_1$	$l_{10}$	$l_{31}$	$d_1$	$d_{10}$	$d_{20}$	$d_{22}$	$d_{25}$	$b_{10}$	$n$	$h$	$l_{21}^*$	$l_{20}^*$	$h_{10}^*$	$h_5$	$b_1$
АИР355S4	210	500	254	100	28	740	24	860	610	8	355	25	6	52	106	25

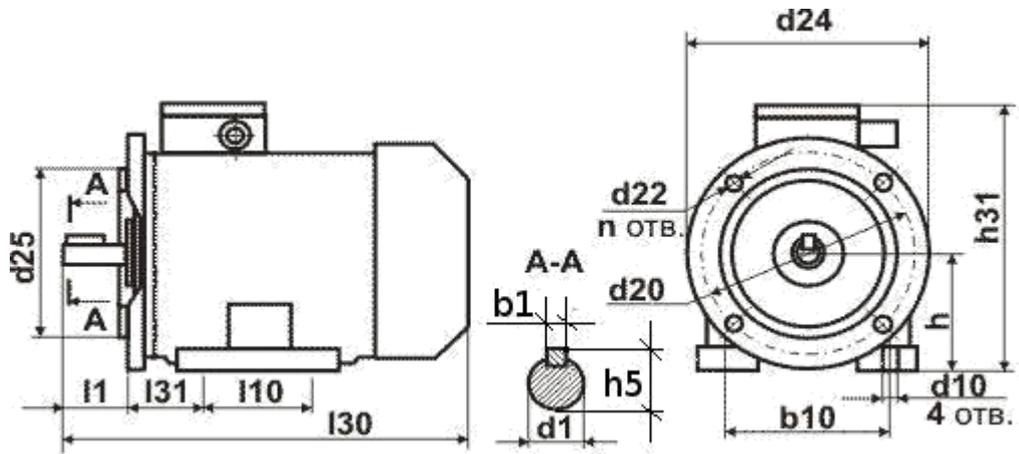


Рисунок 3 - Габаритные и присоединительные размеры двигателя  
 Выбираем насос, 1Д1250-63а, по номинальной мощности  
 электродвигателя АИР355S4. Буровой центробежный насос 1Д1250-63а имеет  
 следующие параметры:

Таблица 5- Техническая характеристика[4]

Тип насоса	Подача, $\frac{3}{\text{м} / \text{ч}}$	Напор, м	Макс. потребляемая мощность насоса, кВт	Частота вращения, (об / мин)
1Д1250-63а	200	30	250	1450



Рисунок 4 – Буровой центробежный насос 1Д1250-63а

## 1.2. Выбор преобразовательного устройства для регулирования электропривода

Основными недостатками асинхронных электродвигателей до недавнего времени оставались сложность и неэкономичность регулирования их частоты вращения, а плавное регулирование двигателей с короткозамкнутым ротором было практически невозможно. В то же время необходимость регулирования частоты вращения была особенно важна для привода механизмов, применяемых для изменения расходов и работающих с переменной нагрузкой.

С развитием силовой полупроводниковой и микропроцессорной техники в последние 15-20 лет стало возможным создание устройств частотного регулирования электроприводов с асинхронными двигателями. Эти устройства позволили экономично и точно управлять скоростью и моментом двигателя, избавиться от дросселирования производительности насосов и вентиляторов при помощи вентилей и заслонок, от применения неэкономичных гидромуфт, а также сложных и дорогостоящих приводов постоянного тока.

Частотно-регулируемый привод (ЧРП) состоит из асинхронного электрического двигателя М и преобразователя частоты ПЧ (рисунок 5):

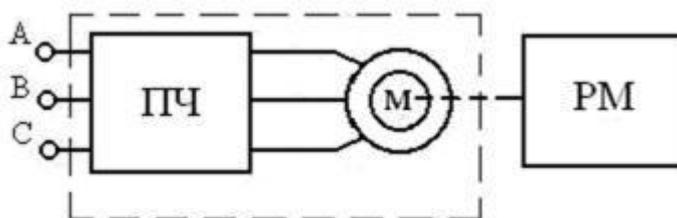


Рисунок 5 - Общая структура ЧРП Электрический двигатель приводит в движение рабочий механизм РМ

(насос, вентилятор, конвейер, питатель и т.п.). Преобразователь частоты ПЧ представляет собой статическое электронное устройство, которое управляет электрическим двигателем. На выходе преобразователя формируется электрическое напряжение с регулируемой частотой и амплитудой.

Регулирование частоты вращения ротора асинхронного двигателя основано на изменении частоты вращающегося магнитного поля, создаваемого статором двигателя.

В наиболее распространенном частотно-регулируемом приводе на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором применяются два вида управления – скалярное и векторное.

При скалярном управлении одновременно изменяют частоту и амплитуду подводимого к двигателю напряжения.

Частотный преобразователь состоит из системы управления, выпрямителя и шины постоянного тока. Входное синусоидальное напряжение с постоянной амплитудой и частотой выпрямляется в звене постоянного тока В, сглаживается фильтром состоящим из дросселя  $L_v$  и конденсатора фильтра  $C_v$ , а затем вновь преобразуется инвертором АИН в переменное напряжение изменяемой частоты и амплитуды. Регулирование выходной частоты  $f_{\text{вых}}$  и напряжения  $U_{\text{вых}}$  осуществляется в инверторе за счет высокочастотного широтно-импульсного управления. Широтно-импульсное управление характеризуется периодом модуляции, внутри которого обмотка статора электродвигателя подключается поочередно к положительному и отрицательному полюсам выпрямителя.

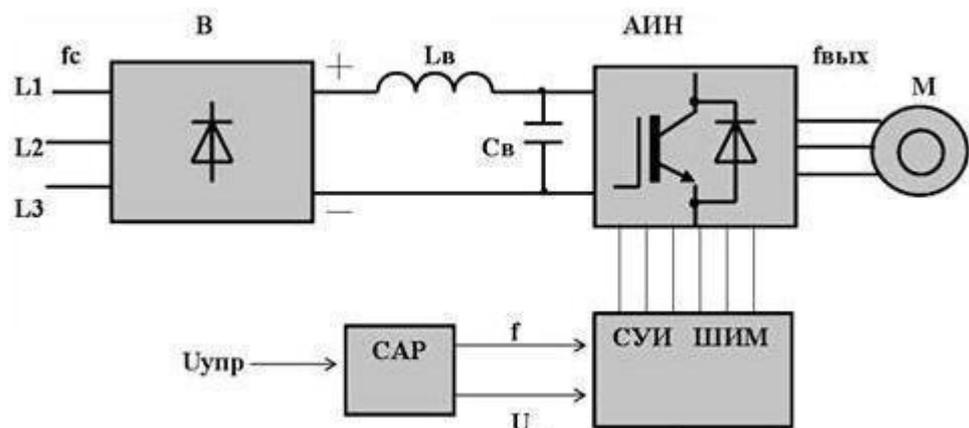


Рисунок 6 - Структурная схема частотного преобразователя

Длительность подключения каждой обмотки в пределах периода следования импульсов модулируется по синусоидальному закону. Наибольшая

ширина импульсов обеспечивается в середине полупериода, а к началу и концу полупериода уменьшается. Таким образом, система управления СУИ обеспечивает широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) напряжения, прикладываемого к обмоткам двигателя. Амплитуда и частота напряжения определяются параметрами модулирующей синусоидальной функции. Таким образом, на выходе преобразователя частоты формируется трехфазное переменное напряжение изменяемой частоты и амплитуды.

Выбираем ПЧ при условии, что  $I_{нпч} \geq I_{ндв}$   $470 \geq 442$

выбираем преобразователь типа ES025-04-4700F производитель компания «Эффективные Системы».[5]



Рисунок 7 - Преобразователь частоты EI-9011

Общие технические данные преобразователя частоты серии ES025-04-4700F:

Предназначен для приводов с «вентиляторной» механической характеристикой — насосов и вентиляторов

Основные характеристики:

250 кВт, 470 А, 3х380 В, 0-400 Гц Перегрузочная способность  
120% номинального тока в течение одной

минуты Режимы управления: векторный без обратной связи, по АЧХ,  
управление

моментом Пусковой момент 150% номинального момента  
при 0,5 Гц

Глубина регулирования скорости 1:100

Точность поддержания скорости не хуже 0,5%

Функция запуска с поиском скорости (подхват вращающегося  
двигателя) Функция продолжения работы после кратковременных  
сбоев питания Встроенный ПИД-регулятор Встроенный ПЛК

Внешние сигналы управления 4...20мА, 0...10В, импульсный вход Выход  
с открытым коллектором или выход импульсного сигнала, аналоговые  
выходы 4...20мА, 0...10В Защита по 25 видам сбоев: перегрузка по току,  
перегрузка по напряжению,  
пониженное напряжение, перегрев, обрыв фазы, механическая перегрузка  
привода и т.д.

Степень защиты IP20

Климатическое исполнение У4

Напряжение питания	380В
Номинальное напряжение электродвигателя	380В
Номинальный ток двигателя, А	470
Номинальная мощность двигателя (справочно), кВт	250
Перегрузочная способность	120% в течение 1 минуты
Диапазон выходных частот, Гц	0-400
Метод управления	векторный, скалярный
Автоматическое регулирование	ПЛК, ПИД-регулятор
Количество дискретных входов	7
Количество аналоговых входов	2
Количество импульсных входов	1
Количество дискретных выходов	1
Количество аналоговых выходов	2

Количество релейных выходов	2
Наличие интерфейса RS485	+
Наличие блока торможения	внешний
Степень защиты корпуса	IP20

### 1.3 Расчет и выбор основных силовых элементов системы регулируемого электропривода

#### 1.3.1. Расчет АИН

Максимальный ток через ключи инвертора:

$$I_{сmax} = \frac{P_{н}}{\eta \cos \phi} \cdot \frac{k_1 \sqrt{2} \cdot k_2}{\sqrt{3} U_{л}} = \frac{250 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,1}{0,953 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{3} \cdot 380} = 826,703 \text{ А},$$

Где  $k_1 = 1,2 - 1,5$  коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току, необходимый для обеспечения динамики ЭП,

$k_2 = 1,1 - 1,2$  коэффициент допустимой мгновенной пульсации тока,  $U_{л}=380\text{В}$  - линейное напряжение двигателя, В.

Выбираем IGBT транзистор АРТ100GF60JRD с параметрами:  $I_{НОМ} = 800 \text{ А}$ ,  $I_{max} = 1200 \text{ А}$ ,  $U_{max} = 1200 \text{ В}$ . [6]

Потери в IGBT в проводящем состоянии

$$P_{SS} = \frac{I_{сmax}}{k_1} \cdot U_{ce(sat)} \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{D}{3 \cdot \pi} \cdot \cos \phi \right) = \frac{826,703}{1,2} \cdot 2,5 \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{0,95}{3 \cdot \pi} \cdot 0,9 \right) = 371,61 \text{ Вт}$$

Где  $D = \frac{t_p}{T} \approx 0,95$  - максимальная скважность,

$U_{ce(sat)} = 2,1 - 2,5\text{В}$  - прямое падение напряжения на IGBT в насыщенном состоянии

при  $I_{cp}$  и  $T_j = 125^\circ\text{C}$

Потери в IGBT при коммутации:

$$P_{sw} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{cp} \cdot U_{cc} \cdot f_{sw} \cdot (t_{c(on)} + t_{c(off)})}{2} = \frac{1}{3,14 \sqrt{2}} \cdot \frac{688,919 \cdot 513 \cdot (0,3 \cdot 10^{-6} + 0,6 \cdot 10^{-6}) \cdot 10^4}{2} = 358,14 \text{ Вт}$$

$$I_{cp} = I_{сmax} / k_1 = 826,703 / 1,2 = 688,919 \text{ А}$$

$U_d = 1,35 \cdot U_{л}$ , т.к. схема выпрямителя мостовая,  $U_{cc} = U_d = 513 \text{ В}$  – напряжение на коллекторе IGBT. Время включения и выключения транзистора:  $t_{c(on)} = 0,3 \cdot 10^{-6}$ ,  $t_{c(off)} = 0,6 \cdot 10^{-6}$  – продолжительность переходных процессов по цепи коллектора IGBT на открытие и закрытии транзистора соответственно, где  $f_{sw} = 10 \text{ кГц}$  – частота коммутаций ключей.

Суммарные потери в IGBT:  $P_Q = P_{SS} + P_{SW} = 371,61 + 358,14 = 729,751 \text{ Вт}$ .

Потери диода в проводящем состоянии:

$$P_{DS} = I_{cp} \cdot U_{ec} \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{D}{3 \cdot \pi} \cdot \cos \phi \right) = 688,919 \cdot 1,4 \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{0,95}{3 \cdot \pi} \cdot 0,9 \right) = 208,102 \text{ Вт}$$

Где,  $U_{ec} = 1,4 \text{ В}$  – прямое падение напряжения на диоде в проводящем состоянии,  $I_{cp} = I_{cp} = 688,919 \text{ А}$ .

Потери диода при восстановлении запирающих свойств:

$$P_{DR} = \frac{1}{8} \cdot (U_{cc} \cdot I_{cp} \cdot t_{rr} \cdot f_{sw}) = \frac{1}{8} \cdot (513 \cdot 688,919 \cdot 0,16 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4) = 70,683 \text{ Вт}$$

Где,  $t_{rr} = 0,16 \cdot 10^{-6} \text{ с}$  – продолжительность импульса обратного тока.

Суммарные потери диода:

$$P_D = P_{DR} + P_{DS} = 70,683 + 208,102 = 278,785 \text{ Вт}$$

Результирующие потери в IGBT с обратным диодом:

$$P_T = P_D + P_Q = 278,785 + 729,751 = 1026 \text{ Вт}$$

### **1.3.2. Расчет выпрямителя (трехфазная мостовая схема)**

$U_d = 1,35 \cdot U_{л}$  – среднее выпрямленное напряжение;  $n = 6$  – кол-во пар IGBT/FWD в инверторе.

Максимальное значение среднего выпрямленного тока:

Максимальный рабочий ток диода:

$$I_{vm} = k_{cc} \cdot I_{dm} = 1,045 \cdot 687,002 = 717,917 \text{ А}$$

Где,  $k_{cc} = 1,045$  для мостовой трехфазной схемы.

Максимальное обратное напряжение диода:

$$U_{vm} = k_{3H} \cdot \sqrt{2} \cdot U_d \cdot k_c \cdot k_{c.H} + \Delta U_{\Pi} = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 380 \cdot 1,1 \cdot 1,35 + 120 = 1078 \text{ В}$$

Где  $k_c = 1,1$  – к-т допустимого повышения напряжения сети,  $k_{3H} = 1,2$  – коэффициент запаса по напряжению,  $k_{c.H} = 1,35$  – коэффициент схемы для номинальной нагрузки,  $U_{\Pi} = 100\text{--}150 \text{ В}$  – запас на коммутационные выбросы напряжения в звене постоянного тока.

Диоды выбираются по постоянному рабочему току (не менее  $I_{vm}$ ) и по классу напряжения (не менее  $U_{vm}/100$ ).

Выбираем диод Д253 с параметрами  $U_{обрмакс} = 150 \text{ В}$ ,  $I_{пр} = 800 \text{ А}$ . [13]

Расчет потерь в выпрямителе для установившегося режима работы ЭП:

$$P_{DV} = m \cdot k_v \cdot k_{cs} \cdot (U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1}) \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} = 6 \cdot 0,577 \cdot 1 \cdot 686,796 = 1982 \text{ Вт}$$

$$k_{cs} = 0,577, m_v = 6, U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} \leq 1.$$

### 1.3.3. Расчет фильтра

Коэффициент пульсаций на входе фильтра:

$$q_{1Bx} = \frac{2}{m^2 - 1} = 0,057,$$

Где  $m$  – пульсность схемы (для трехфазной мостовой схемы  $m=6$ )

Амплитуда тока в фазе двигателя:  $I_{sm1} = 1,41 \cdot I_{двн} = 622,701 \text{ А}$ .

Емкость конденсатора, необходимая для протекания реактивного тока нагрузки инвертора:

$$C_{03} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{sm1} \cdot \sin^2(\frac{\varphi l}{2} - \frac{\pi}{12})}{2 U_d f_{sw} \cdot q_{1Bx}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 622,701 \cdot \sin^2(\frac{0,451}{2} - \frac{\pi}{12})}{2 \cdot 513 \cdot 10000 \cdot 0,057} = 24 \cdot 10^{-8} \text{ Ф},$$

Где  $\varphi l$  - угол сдвига между первой гармоникой фазного напряжения и фазного тока,  $\varphi l = \arccos(\cos(\phi)) = \arccos(\cos(0,9)) = 0,451$ .

Амплитуда тока, протекающего через конденсаторы фильтра на частоте пульсаций выпрямленного тока (по первой гармонике):

$$I_{c0m} = q_{1Bx} \cdot U_d \cdot 2 \pi \cdot m \cdot f_{sw} \cdot C_{03} = 0,057 \cdot 513 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 6 \cdot 10000 \cdot 24 \cdot 10^{-8} = 0,066 \text{ А}.$$

### 1.3.4. Расчет снаббера

Выбранная схема снаббера представлена на рис. 8:

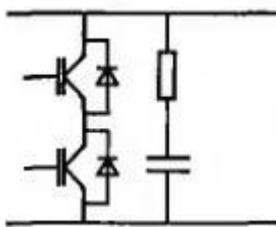


Рисунок 8— Схема снаббера  
Сопротивление резистора зависит от емкости конденсатора  $C$  и частоты коммутации  $IGBTf_{sw}$ , Расчетная формула мощности для выбора резистора цепи снаббера:

Принимаем  $C_{sn} = 5$  мкФ, тогда:  $P = 0,5 \cdot C_{sn} \cdot \Delta U_m^2 \cdot f_{sw} = 90$  Вт, где  $\Delta U = 60$ В – перенапряжение

Где,  $C_{sn}=5$ мкФ - емкость снаббера, которая составляет 1 мкФ на 100 А коммутируемого транзистором тока,  $\Delta U= 60$ В -перенапряжение.

Сопротивление снаббера:

Принимаем  $L_{sn} = 10$  мГн, тогда:  $R_{sn} = 2 \sqrt{\frac{L_{sn}}{C_{sn}}} = 2,828$  Ом

Сопротивление снаббера выбираем из условия:  $R > R_{sn}$

#### 1.4. Выбор аппаратуры управления и защиты

По номинальному току и мощности были выбран контактор фирмы SchneiderElectric серии LC1E250Q5 470A 1НО+1НЗ по каталогу [8].



Рисунок 9 - Контактор LC1E250Q5 450A 1НО+1НЗ

Таблица 6 - Технические характеристики контактора

Характеристики	Величина
Номинальный рабочий ток, АС-3	450 А
Номинальная рабочая мощность, АС-3	250 кВт
Номинальное рабочее напряжение катушки	380 В
Встроенные вспомогательные контакты	1 НЗ+ 1НО

Также был выбран автоматический выключатель выключатель типа ВА88-40 3Р 500А [9].



Рисунок 10 - Автоматический выключатель -40 3P 500А

Выключатели выпускаются в стационарном и выдвижном исполнении, с электромагнитным и ручным приводом. При необходимости встраиваются следующие дополнительные сборные единицы: независимый расцепитель, нулевой расцепитель, свободные контакты. Присоединение внешних проводников к контактам главной переднее заднее.

### **1.5. Расчет и выбор типа и сечения кабеля сети высокого напряжения и вспомогательного оборудования**

Выбор конструкции сети и типа проводников осуществляется с ориентацией на окружающую среду помещений цехов. В цеховых сетях до 1000В наиболее широкое распространение получили электропроводки, кабельные линии, комплектные шинопроводы. Выбор способа прокладки питающей сети производится с учётом характера окружающей среды и возможных условий места прокладки.

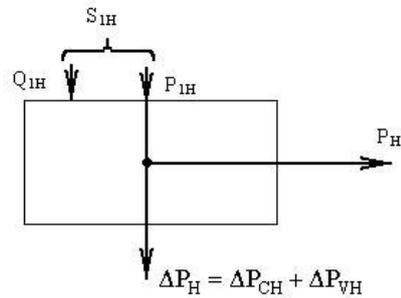
По номинальному току двигателя и для таких условий выбираем кабель ВПВ– кабель с медными жилами, изоляция выполнена из полиэтилена и оболочкой из ПВХ пластиката.

сечением  $35 \text{ мм}^2$  . Допустимый ток кабеля равен 560 А. Для сети высокого напряжения выбирается кабель марки КВВ, сечением  $95 \text{ мм}^2$  допустимый ток которого, равен 1260 А. [10]



## 1.6. Определение расхода электроэнергии за цикл работы, среднецикловых значений КПД и коэффициента мощности.

### Номинальный режим



Полная мощность

$$\Delta P_H = P_H \left( \frac{1}{\eta_H} - 1 \right) = 250000 \cdot \left( \frac{1}{0,953} - 1 \right) = 12330 \text{ Вт}$$

Переменная составляющая потери мощности

$$\Delta P_{V.H} = M_H \left( \omega - \omega_0 \right) \cdot \left( 1 + \frac{R}{R'_2} \right) = 1647 \cdot (157 - 151,8) \cdot \left( 1 + \frac{0,017}{0,016} \right) = 17280 \text{ Вт}$$

Постоянная составляющая потери мощности

$$\Delta P_{C.H} = \Delta P_H - \Delta P_{V.H} = 17280 - 12330 = 4948 \text{ Вт}$$

Коэффициент потерь мощности

$$a = \frac{\Delta P_{C.H}}{\Delta P_{V.H}} = \frac{4948}{12330} = 0,286$$

### Активная энергия

Полезный расход энергии (механическая работа)

$$A_2 = M_c \cdot \omega_c \cdot t_c = 1647 \cdot 151,8 \cdot 0,9 = 225000 \text{ [Вт с]}$$

где  $\omega_c$ ,  $t_c$  – соответственно угловая скорость и время

установившегося режима ( время установившегося режима принимаем равным 0,9 из рисунка 20).

Постоянная составляющая потери энергии

$$\Delta A_C \approx \Delta P_{CH} \left( \frac{\omega}{\omega_H} \right)^2 \cdot t_c = 4948 \cdot \left( \frac{151,8}{157} \right)^2 \cdot 0,9 = 4163 \text{ [Вт с]}$$

Приведенный фазный ток ротора в установившемся режиме

$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s_c})^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \frac{220}{\sqrt{(0.017 + \frac{0.016}{0.033})^2 + (0.11)^2}} = 442.437 \text{ [A]},$$

Переменная составляющая потери энергии

$$\Delta A_V = 3 \cdot [I_0^2 \cdot R_0 + (I_2')^2 \cdot (\sigma \cdot R_1 + R_2')] \cdot t$$

где  $\sigma$  – поправочный коэффициент

$$\sigma = 1 + \frac{2 \cdot I_0 \cdot X_K}{U_1} = 1 + \frac{2 \cdot 152.835 \cdot 0.11}{220} = 1,153$$

$$\Delta A_V = 3 \cdot [152.835^2 \cdot 0.017 + 442.437^2 \cdot (1,153 \cdot 0.017 + 0.016)] \cdot 0.9 = 18130 \text{ [Вт} \cdot \text{с]}.$$

Потребляемая из сети энергия

$$A = A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_C + \Delta A_V = 18130 + 4163 + 225000 = 247300 \text{ [Вт} \cdot \text{с]}.$$

Реактивная энергия Потребление

реактивной энергии за цикл

$$\sum A_P = \sum_{i=1}^n [I_0^2 \cdot (X_1 + X_\mu) + (I_2')^2 \cdot (X_1 + X_2')] \cdot t_{c,i} = 3 \cdot (152.835^2 \cdot (0.046 + 1.342) + (442.437^2) \cdot (0.046 + 0.062)) \cdot 0.9$$

$$\sum A_P = 1.2 \cdot 10^5 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

где n – число установившихся режимов;

$X_\mu$  – индуктивное сопротивление намагничивающего контура двигателя

Энергетические показатели электропривода

Энергетический (среднецикловой) к.п.д. электропривода

$$\eta = \frac{\sum_1 A_2}{\sum_1 A_1} \cdot 100\% = \frac{225000}{247300} \cdot 100\% = 91\%.$$

где  $\sum_2 A$  –

суммарный расход полезной энергии за цикл;

$\sum_1 A_1$  – суммарное потребление энергии из сети за цикл;

Энергетический (среднецикловой) коэффициент мощности

электропривода

$$\cos \varphi_3 = \frac{\sum_1 A_1}{\sqrt{(\sum_1 A_1)^2 + (\sum_1 A_P)^2}} = \frac{A_2 + \Delta A_C + \Delta A_V = 18130 + 4163 + 225000 = 247300}{\sqrt{247300^2 + (3 \cdot (152.835^2 \cdot (0.046 + 1.342)))^2}} = 0,9$$

$$\sqrt{+(442.437^2) * (0.046 + 0.062) * 0.9^2}$$

## 2. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

### 2.1. Расчет T-образной схемы замещения асинхронного двигателя

Под статическими характеристиками чаще всего подразумеваются электромеханическая и механическая характеристика.

Механическая характеристика — это зависимость угловой скорости вращения вала от электромагнитного момента  $M$  (или от момента сопротивления  $M_c$ ).

Электромеханическая характеристика — это зависимость угловой скорости вращения вала  $\omega$  от тока  $I$ .

Под естественной механической характеристикой асинхронного двигателя понимается зависимость момента двигателя  $M$  от его скольжения  $s$  при номинальной схеме включения двигателя, номинальных параметрах питающей сети и отсутствии добавочных сопротивлений в цепях двигателя. Все остальные характеристики называются искусственными. С помощью искусственных характеристик асинхронного двигателя регулируют его скорость в соответствии с требованиями технологического процесса.

Для расчета электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя необходимо воспользоваться его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения. Наиболее простой и удобной для расчетов асинхронного двигателя является T-образная схема замещения, представленная на рисунок 1. Расчет параметров схемы замещения производится по [7].

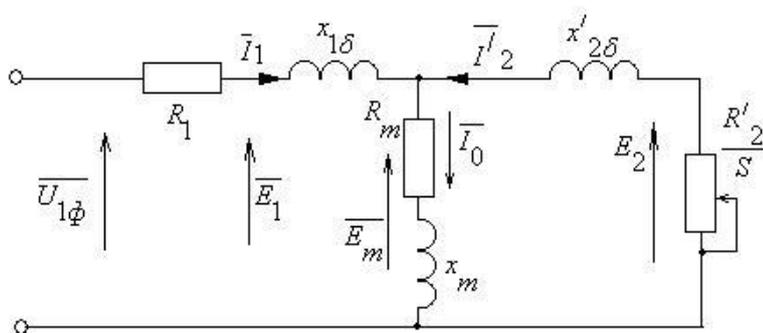


Рисунок 11 - Схема замещения асинхронного двигателя

$U_{1\phi}$  – фазное напряжение подводимое к обмотке статора двигателя;

$I_1$  – ток обмотки статора;

$R_1$  – активное сопротивление обмотки статора;

$X_{1\sigma}$  – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;

$I_2'$  – приведенный ток обмотки ротора к обмотке статора;

$R_2'$  – приведенное активное сопротивление цепи обмотки ротора к цепи обмотке статора;

$X_{2\sigma}'$  – приведенное индуктивное сопротивление рассеяния цепи обмотки ротора к цепи обмотке статора;

$I_0$  – ток холостого хода (намагничивания);

$X_m$  – индуктивное сопротивление контура намагничивания

Определим параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя АИР200М4 со следующими каталожными данными:

Номинальная мощность двигателя:  $P_n = 250$  кВт Номинальное фазное напряжение:  $U_{n1} = 220$  В

Номинальное напряжение сети:  $U_{\phi n} = 380$  В

Номинальная частота вращения:  $n_n = 1450$  об/мин КПД в режиме номинальной мощности:  $\eta_{H1} = 0,953$  о. е.

Коэффициент мощности в режиме номинальной мощности:  $\cos \phi = 0,87$  о. е.

Кратность пускового тока:  $k_t = 6,9$  о. е.

Кратность пускового момента:  $k_M = 2,1$  о. е.

Кратность максимального момента:  $k_{M\max} = 2,2$  о. е.

Коэффициент загрузки двигателя:  $\beta_{ж} = 0,75$  о. е.

Число пар полюсов:  $2p = 2$

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие T-образной схеме:

$$\begin{cases} \bar{U}_{1\Phi} - E_m - j \cdot X_1 \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 = 0 \\ E_m + j \cdot X_2' \cdot \bar{I}_2 + R_2' \cdot \bar{I}_2 / s = 0 \\ \bar{I}_1 + \bar{I}_2 - \bar{I}_0 = 0 \end{cases}$$

Найдем синхронную частоту вращения и номинальное скольжение:

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$S_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0,033 \text{ о.е.}$$

Найдем ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left( p_{жс} \cdot I_{1H} \cdot \frac{1-S_H}{1-p_{жс}} \cdot S_H \right)^2}{1 - \left( p_{жс} \cdot \frac{1-S_H}{1-p_{жс}} \cdot S_H \right)^2}}, \text{ где}$$

$$I_{11} = \frac{p_{жс} \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\Phi} \cdot \cos \phi_{P*} \cdot \eta_H} = \frac{0,75 \cdot 250 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,867 \cdot 0,953} = 343,95 \text{ А-}$$

ток статора двигателя при частичной нагрузке, где

$\eta_{P*} = \eta_H = 0,953$  - КПД при частичной нагрузке,

$$\cos \phi_{P*} = \cos \phi \cdot \frac{(\cos \phi)^{0,75}}{(\cos \phi)} = 0,953 \cdot 0,963 = 0,867 \text{ о.е. - коэффициент мощности}$$

при частичной нагрузке.

$\cos\varphi_{0,75}/\cos\varphi_H=0,963$  – относительный коэффициент мощности при частичной нагрузке (из графика на рисунок 12).

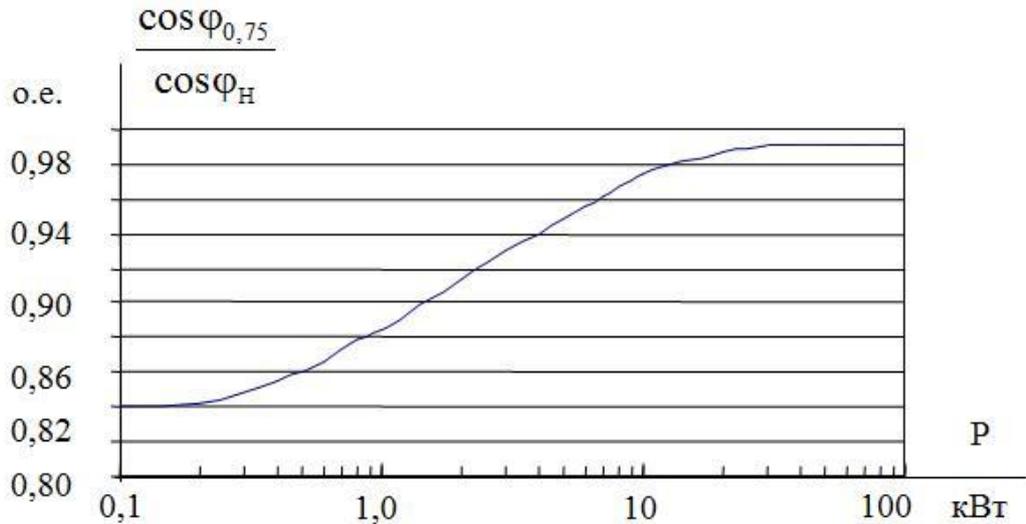


Рисунок 12 - Зависимость  $\cos\varphi_{0,75}/\cos\varphi_H$  от мощности асинхронного двигателя

$$I_{1H} = \frac{P}{3U_{1H} \cdot \cos\varphi \cdot \eta_H} = \frac{250000 \text{ Вт}}{220 \cdot 0,9 \cdot 0,953} = 441,632 \text{ А} - \text{номинальный ток статора}$$

двигателя

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1H}^2 - \left[ \frac{p \cdot I_{1H} \cdot (1-S_H)}{1-p \cdot (1-S_H)} \right] / \left[ \frac{p \cdot S_H}{(1-p \cdot S_H)} \right]^2}{1 - \left[ \frac{p \cdot (1-S_H)}{(1-p \cdot S_H)} \right] / \left[ \frac{p \cdot S_H}{(1-p \cdot S_H)} \right]^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{343,95^2 - \left[ \frac{0,75 \cdot 441,632 \cdot (1-0,033)}{1-0,75 \cdot (1-0,033)} \right] / \left[ \frac{0,75 \cdot 0,033}{1-0,75 \cdot 0,033} \right]^2}{1 - \left[ \frac{0,75 \cdot (1-0,033)}{1-0,75 \cdot 0,033} \right] / \left[ \frac{0,75 \cdot 0,033}{1-0,75 \cdot 0,033} \right]^2}} = 152,835 \text{ А};$$

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения. В первом приближении принимаем  $\beta = 1$ :

$$S_{KP} = S_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - \left[ \frac{1-2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot k_{\max} - 1}{1-2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} \right]}}{1-2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,033 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - \left[ \frac{1-2 \cdot 0,033 \cdot 1 \cdot (2,2-1)}{1-2 \cdot 0,033 \cdot 1 \cdot (2,2-1)} \right]}}{1-2 \cdot 0,033 \cdot 1 \cdot (2,2-1)} = 0,15 \text{ о.е.}$$

Найдем значения коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{152,835}{2 \cdot 6,9 \cdot 441,632} = 1,025 ;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1-S_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{i \max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1-0,033)}{2 \cdot 1,025 \cdot 2,2 \cdot 250 \cdot 10^3} = 0,125$$

Теперь можно определить активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{A}{(\beta + 1 S_{KP}) \cdot C_1} = \frac{0.125}{\left(1 + \frac{1}{0.15}\right) \cdot 1.025} = 0.016 \text{ Ом};$$

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1.025 \cdot 0.016 \cdot 1 = 0.017 \text{ Ом};$$

Определим параметр  $\gamma$ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания  $x_{кн}$ :

$$\gamma = \sqrt{S_{KP}^2 - \beta^2} = \sqrt{0.15^2 - 1^2} = 6.601;$$

Найдем значение индуктивного сопротивления короткого замыкания:

$$X_k = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 6.601 \cdot 1.025 \cdot 0.016 = 0.11 \text{ Ом};$$

Найдем индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X_2' = 0.58 \cdot \frac{X_k}{C_1} = 0.58 \cdot \frac{0.11}{1.025} = 0.062 \text{ Ом};$$

Найдем индуктивное сопротивление статорной обмотки:

$$X_1 = 0.42 \cdot X_k = 0.42 \cdot 0.11 = 0.046 \text{ Ом};$$

По найденным значениям  $C_1, R_2'$  и  $x_{кн}$  определим критическое скольжение:

$$S_{к1} = \frac{C_1 \cdot R_2'}{\sqrt{R_1^2 + x_{кн}^2}} = \frac{1.025 \cdot 0.016}{\sqrt{0.017^2 + 0.11^2}} = 0.15 \text{ о.е.}$$

Рассчитанные значения  $S_{к1}$  и  $S_k$  равны.

Для того чтобы найти ЭДС ветви намагничивания  $E_1$  найдем  $\sin \varphi$ :

$$\sin \varphi = \sin(\arccos(\cos \varphi)) = \sin \arccos(0.87) = 0.493$$

Найдем ЭДС ветви намагничивания  $E_1$ , наведенную потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$E_1 = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi - R_{1H} \cdot I_1)^2 + (U_{1H} \cdot \sin \varphi - x_{1H} \cdot I_1)^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0,9 - 0,017 \cdot 441,632)^2 + (220 \cdot 0,436 - 0,046 \cdot 441,632)^2} = 205,051 \text{ В}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_{\mu H} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{205,051}{152,835} = 1,342 \text{ Ом}$$

Найдем синхронную угловую скорость:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Рассчитаем и построим естественную электромеханическую характеристику:

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \phi_2}, \text{ где}$$

$$\sin \phi_2 = \frac{x_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega - \omega_0}\right)^2 + x_{KH}^2}}$$

$I_2'(\omega)$  - значение приведенного тока ротора от скольжения;

$$I_2' = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega - \omega_0}\right)^2 + (x_{1H} + x_{2H}')^2}}$$

По вышеприведенным формулам рассчитывается естественная электромеханическая характеристика, приведенная на рисунке 13:

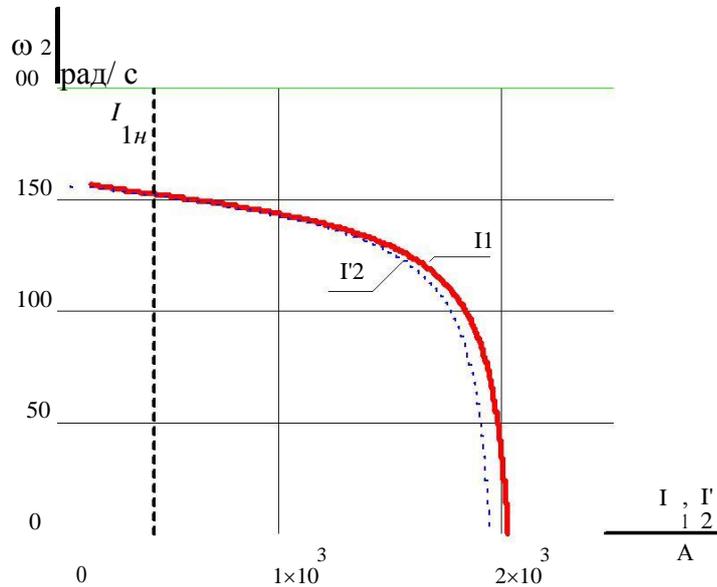


Рисунок 13 - Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя

Рассчитаем и построим естественную механическую характеристику по следующей формуле:

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U^2 \cdot R'}{2 \cdot \omega_0 \cdot \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \cdot \left[ \left( R + \frac{R'}{1 - \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}} \right)^2 + x^2 \right]}$$

Рассчитаем контрольные точки механической характеристики по паспортным данным:

Номинальная скорость:

$$\omega_n = \omega_0 \cdot (1 - S) = 157 \cdot (1 - 0,033) = 151,819 \text{ рад/с};$$

$$\text{Момент номинальный: } M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{250000}{151,819} = 1647 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\text{Момент критический: } M_{кр} = M_{ном} \cdot k_{макс} = 1647 \cdot 2,2 = 3623 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\text{Момент пусковой: } M_n = M_{ном} \cdot k_n = 1647 \cdot 2,1 = 3458 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

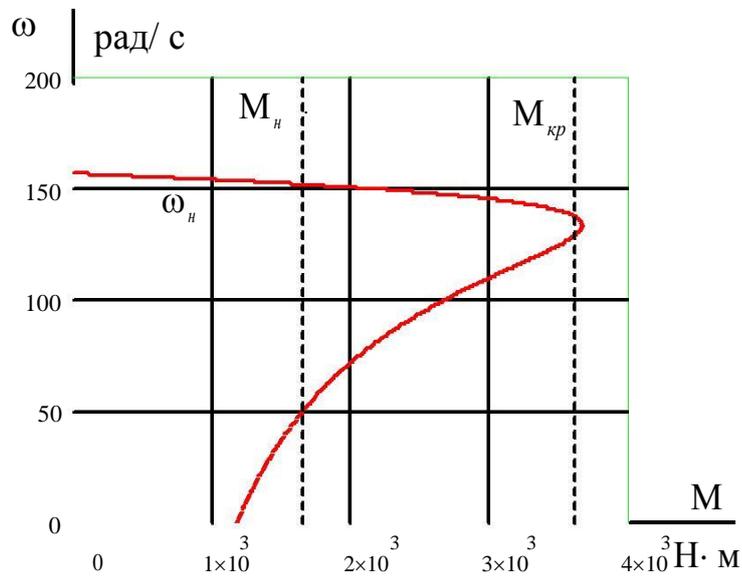


Рисунок 14 - Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя

### Расчёт и построение механических и электромеханических характеристик АД для закона регулирования

Расчет характеристик производим для частот  $f_1=50; 30; 20; 15$  Гц.

При законе регулирования:  $Z_p = \frac{U_{1H}}{f^2} = \frac{220}{50^2} = 0,088$ .

Найдем относительные значения частот питающего напряжения:

при $f_{1н1}=50$ Гц	$\frac{50}{50} = 1$
при $f_{1н2}=25$ Гц	$\frac{25}{50} = 0,5$
при $f_{1н3}=10$ Гц	$\frac{10}{50} = 0,2$
при $f_{1н4}=5$ Гц	$\frac{5}{50} = 0,1$

Найдем фазное напряжение обмотки статора асинхронного двигателя:

$$U_{ф1} = 0,088 \cdot 50^2 = 220 \text{ В;}$$

$$U_{ф2} = 0,088 \cdot 25^2 = 55 \text{ В;}$$

$$U_{ф3} = 0,088 \cdot 10^2 = 8,8 \text{ В;}$$

$$U_{ф4} = 0,088 \cdot 5^2 = 2,2 \text{ В.}$$

В соответствии с представленными частотами питающего напряжения произведем расчет значений скорости идеального холостого хода:

	$2 \cdot$	$2 \cdot 3,14 \cdot 50$	
01	$= \frac{\quad}{2}$	$= \frac{\quad}{2}$	= 157,08 рад/с
	$2 \cdot$	$2 \cdot 3,14 \cdot 25$	
02	$= \frac{\quad}{2}$	$= \frac{\quad}{2}$	= 78,54 рад/с
	$2 \cdot$	$2 \cdot 3,14 \cdot 10$	
03	$= \frac{\quad}{2}$	$= \frac{\quad}{2}$	= 31,416 рад/с
	$2 \cdot$	$2 \cdot 3,14 \cdot 5$	
04	$= \frac{\quad}{2}$	$= \frac{\quad}{2}$	= 15,708 рад/с

Определим токи холостого хода при данных частотах регулирования:

	$220$		
01	$= \frac{\quad}{1342}$	$= \frac{\quad}{1342}$	= 163,976 ;
	$55$	$1342 \cdot 65$	= 81,988 ;
02	$= \frac{\quad}{1342}$	$= \frac{\quad}{1342 \cdot 65}$	
	$8,8$	$1342 \cdot 62$	= 32,795 ;
03	$= \frac{\quad}{1342}$	$= \frac{\quad}{1342 \cdot 62}$	
	$2,2$	$1342 \cdot 61$	= 16,396 ;
04	$= \frac{\quad}{1342}$	$= \frac{\quad}{1342 \cdot 61}$	

Строим электромеханические характеристики  $\Gamma_2(\omega)$  для выбранных частот по выражениям:

$$I_2'(s, f) = \frac{U(f)}{\sqrt{\left( \frac{R_1}{s} + \frac{R_2}{2s} \right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f^2 \cdot \left( \frac{R \cdot R}{s \cdot X \cdot f} \right)^2}}$$

где  $\omega(s, f) = \omega_0 \cdot (f \cdot (1-s))$ .

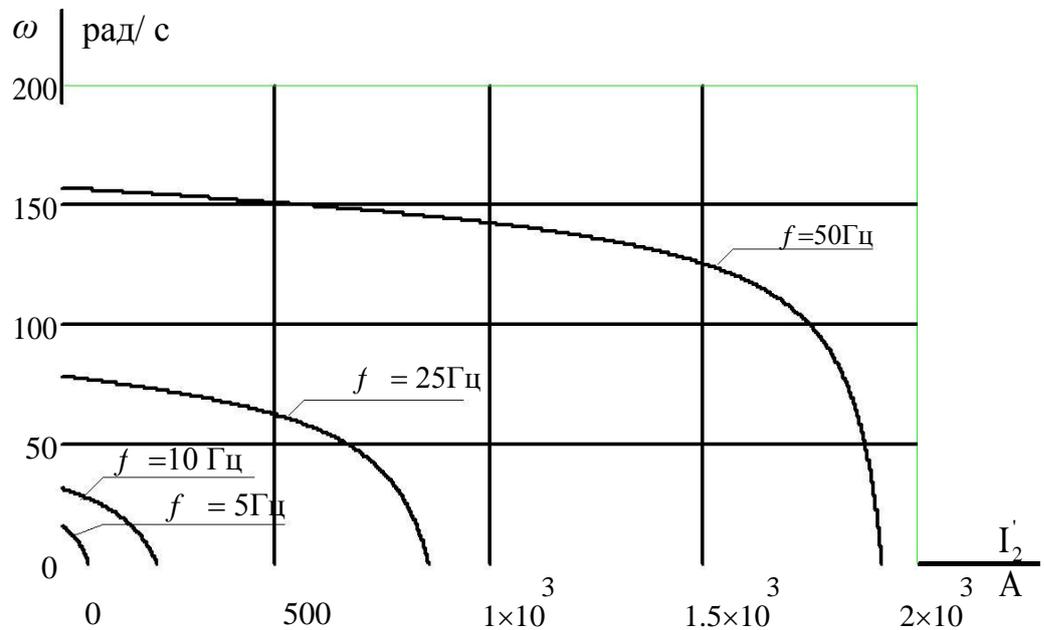


Рисунок 15 - Искусственные электромеханические характеристики  $\Gamma_2(\omega)$  для

$$\text{закона регулирования } \frac{U_1}{f_1^2} = const$$

Также строим электромеханические характеристики  $\Pi(\omega)$  для выбранных частот по выражениям:

$$I_1(s, f) = \sqrt{I_0(f)^2 + I_2'(s, f)^2 + 2 \cdot I_0(f) \cdot I_2'(s, f) \cdot \sin \varphi_2(s, f)},$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1 - s),$$

$$\sin \varphi_2(s, f) = \frac{X_{KH} \cdot f_{1*}(f)}{\sqrt{\left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2(f)}}$$

где  $I_0(f) = \frac{U_1(f)}{X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}$  – ток холостого хода асинхронного двигателя в

зависимости от частоты.

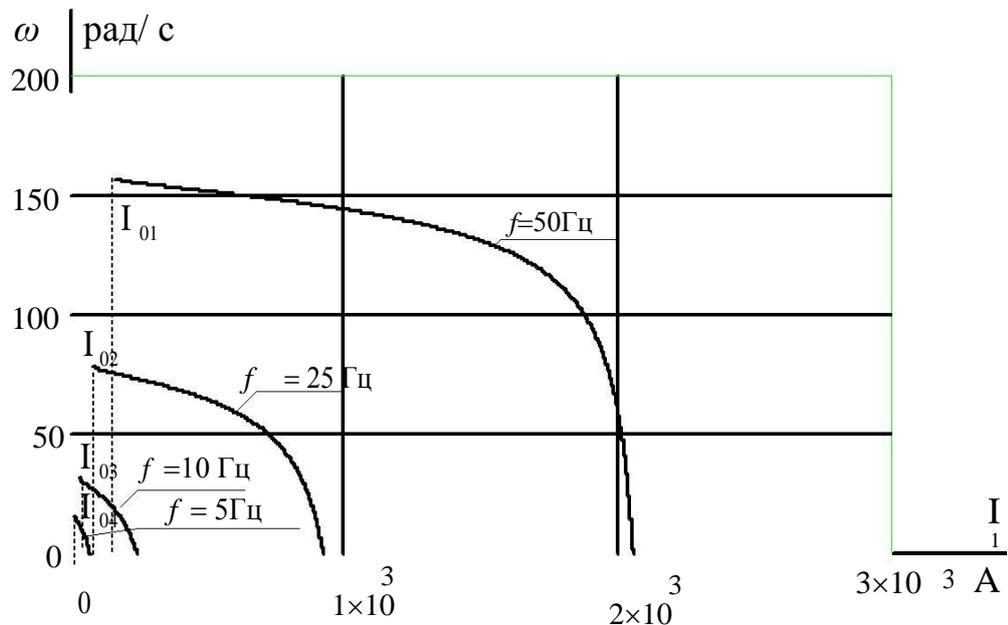


Рисунок 16 - Искусственные электромеханические характеристики  $\Pi(\omega)$  для

$$\text{закона управления } \frac{U_1}{f^2} = const$$

Механические характеристики асинхронного двигателя  $M(\omega)$  (рис. 18)

рассчитываем для выбранных по выражениям

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot U_1(f)^2 \cdot R'_2}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[ X_{\text{эл}}^2 \cdot (f_1(f))^2 + \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left( \frac{R \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu 1} \cdot f_1^*(f)} \right)^2 \right]}$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1-s)$$

Критические момент и скольжение можно определить по выражениям

$$M_K(f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2}{2 \cdot \omega_0(f) \cdot \left[ R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot (f_1^*(f))^2) + \frac{R_1^2}{X_{\mu 1}^2 \cdot (f_1^*(f))^2}} \right]}$$

$$s_K(f) = R_2 \cdot \sqrt{\frac{R_1^2}{R_1^2 + X_{\mu 1}^2 \cdot (f_1^*(f))^2} + \frac{R_1^2}{X_{\mu 1}^2 \cdot (f_1^*(f))^2}}$$

$$\omega_K(f) = \omega(s_K(f), f)$$

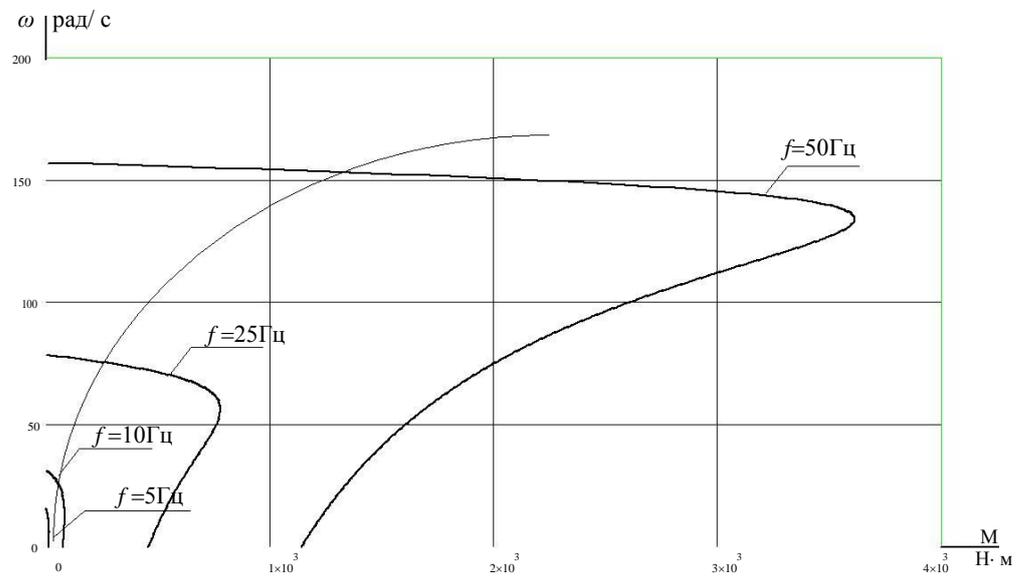


Рисунок 17 - Искусственные механические характеристики  $M(\omega)$

$$\text{для закона управления } \frac{U_1}{f^2} = \text{const}$$

Электромеханические характеристики:

При уменьшение частоты происходит уменьшение синхронной скорости, т.к.

$$1. \omega_0 = \frac{60 \cdot f}{p} \cong f \quad - \quad \text{при уменьшении частоты синхронная скорость}$$

снижается.

$$2. I'_{2кз} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + X_{кн}^2}} \cong \frac{U_1}{f} \cong f \quad - \quad \text{ток короткого замыкания обратно}$$

квадратному корню из частоты.

Механические характеристики:

$$1. \omega_0 = \frac{60 \cdot f}{p} \cong f \quad - \quad \text{при уменьшении частоты синхронная скорость}$$

снижается.

$$2. s_{к} = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}} \cong \frac{1}{f}; \quad M_{к} = \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot [R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}]} \cong \frac{U_1^2}{f^2} \cong f^2.$$

Критические момент и скольжение обратно пропорциональны частоте.

3.  $M_{п=2} \cdot M_{к \cdot s_k} \cong f$  - пусковой момент обратно пропорционален квадрату частоты.

## 2.2. Расчет электромеханических переходных характеристик $\omega = f(t)$ и $M = f(t)$ пуске, набросе и сбросе нагрузки при мгновенном изменении задания

Моделирование асинхронного двигателя осуществим с помощью программы MATLABSimulink. Для создания имитационной модели найдем следующие параметры двигателя.

Индуктивность фазы обмотки статора:



Индуктивность фазы обмотки ротора:



Индуктивность цепи намагничивания:

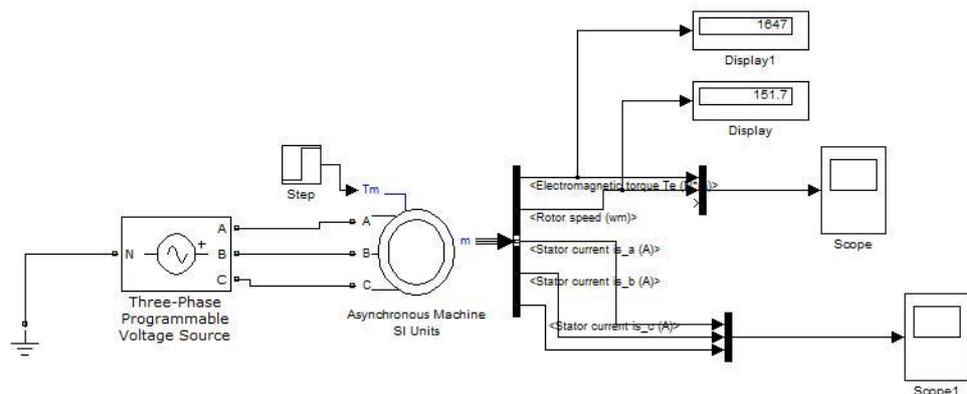


Рисунок 18 - Имитационная модель прямого пуска асинхронного двигателя

Задаем параметры асинхронного двигателя, рисунок 19.

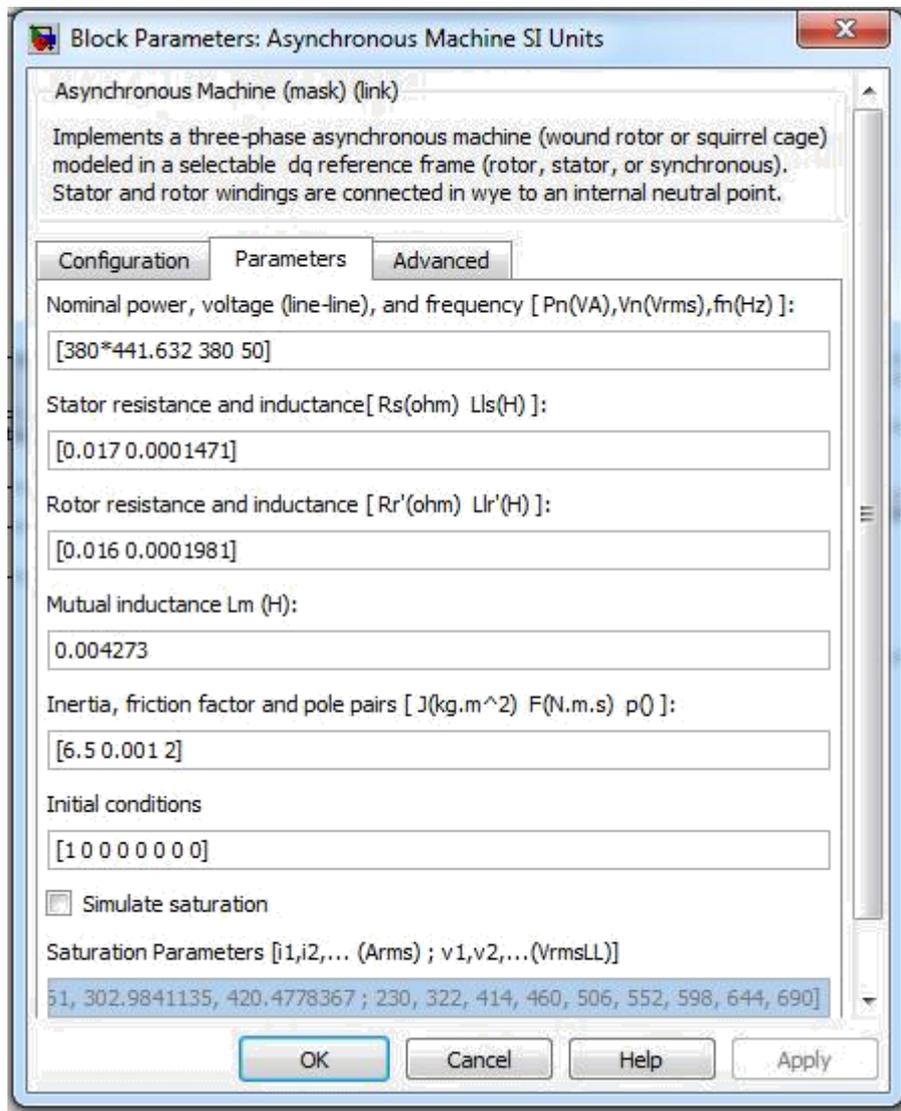


Рисунок 19 - Параметры асинхронного двигателя

Задаем время наброса нагрузки,  $t=1$  с.

Ниже, на рисунке 20 представлены переходные характеристики скорости и момента при прямом пуске АД при набросе нагрузки.

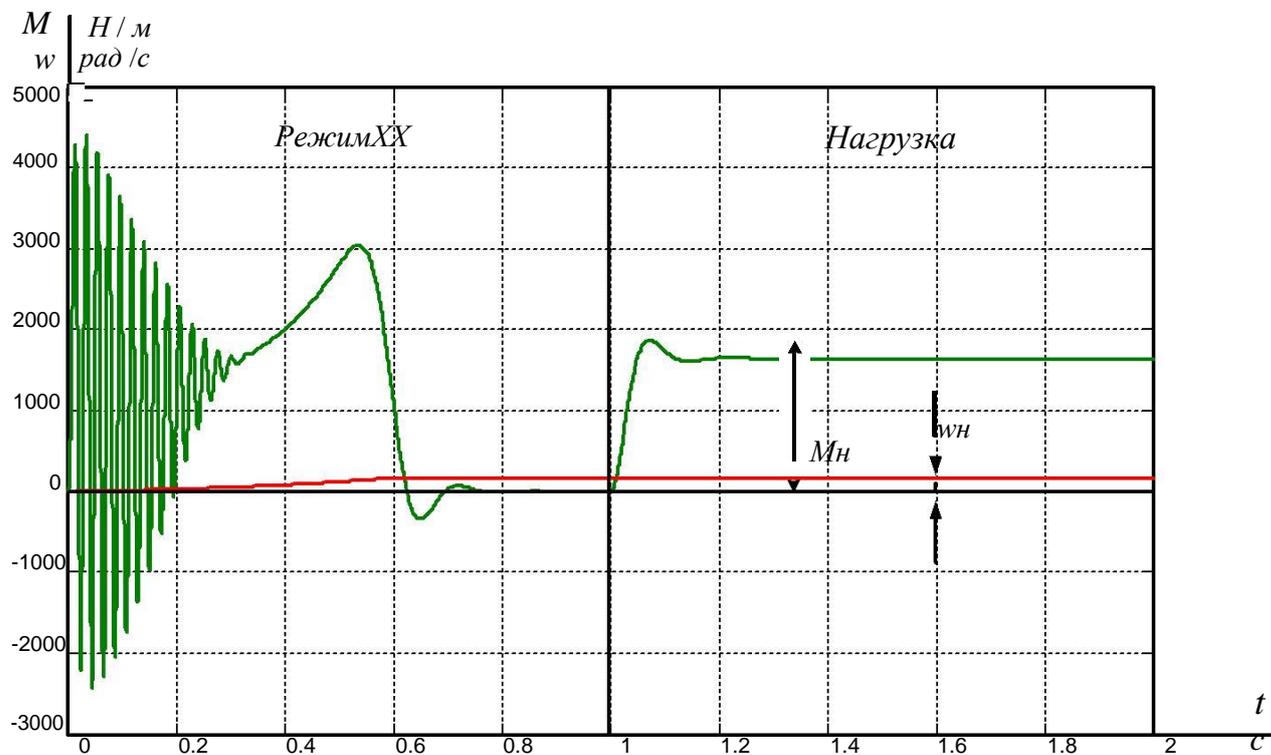


Рисунок 20 - Переходная характеристика скорости и момента двигателя при прямом пуске и набросе нагрузки

Как видно из графиков модель двигателя работает правильно, двигатель выходит на номинальную скорость при номинальной частоте питающей сети.

Исходя из полученных переходных характеристик, можно сказать что при пропорциональном уменьшении частоты и напряжения уменьшается величина номинальной скорости и время достижения этой скорости., а также уменьшается электромагнитный момент.

### 3. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

#### 3.1. Составление силовой схемы регулируемого электропривода

В ПЧ применяется наиболее распространённая для управления короткозамкнутым АД схема ПЧ с АИН и ШИМ напряжение на выходе, неуправляемые выпрямители на вход силовой части схемы и микропроцессорным управления.

Основные элементы, входящие в схему:

UZ – неуправляемый выпрямитель;

$L_0, C_0$  – фильтр;

RT – термистор, ограничивает ток конденсатора  $C_0$ ;

$R_0$  – разрядное сопротивление для конденсатора  $C_0$ ;

R, C – цепь защиты от перенапряжения на транзисторах IGBT (снаббер);

RS – датчик тока для организации защиты (FA) от сквозных и недопустимых токов перегрузки через IGBT;

VT – VD – трехфазный инвертор на IGBT с обратным диодным мостом.

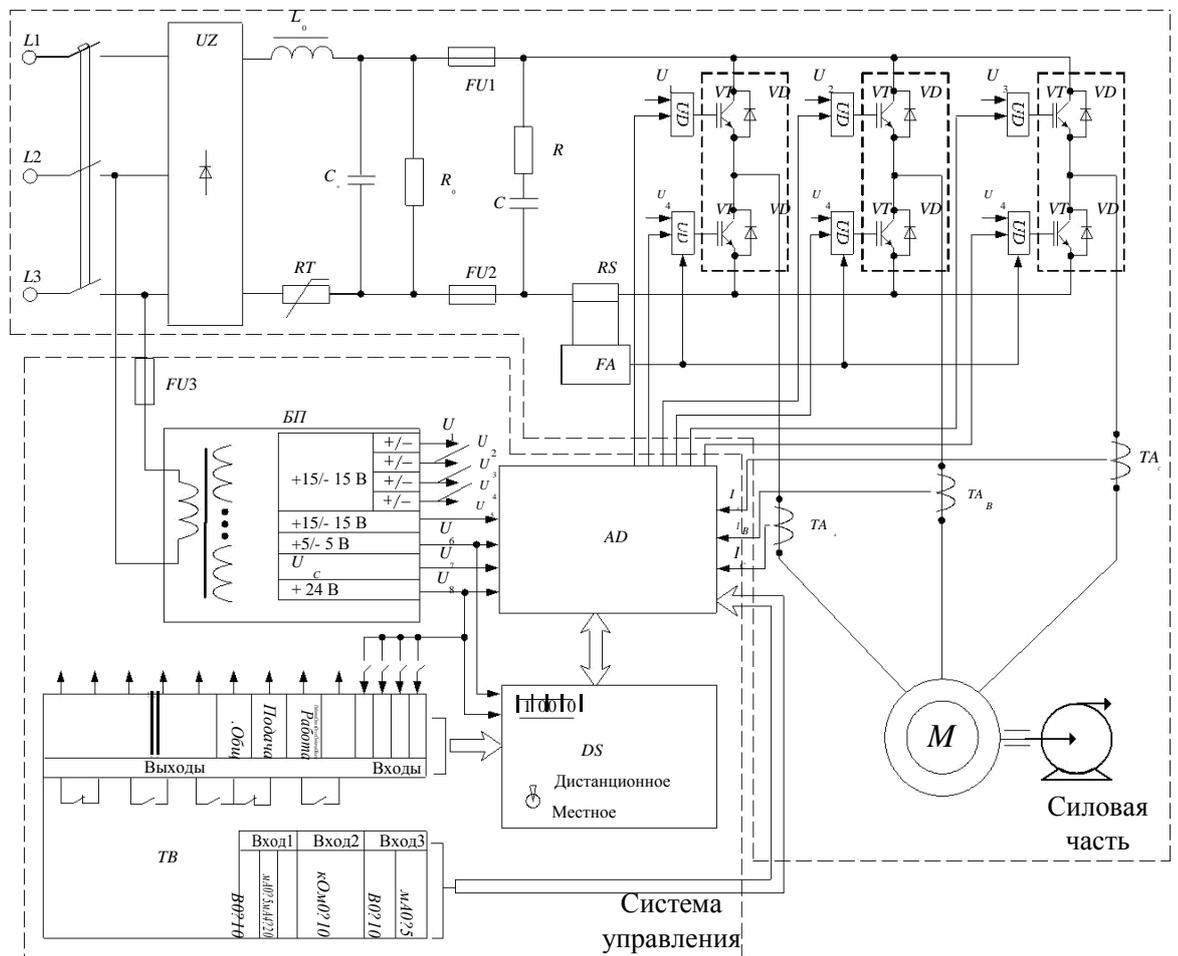


Рисунок 21 - Функциональная электрическая схема асинхронного ЭП с ПЧ

При подаче напряжения 380 В на силовой вход ПЧ в звене постоянного тока происходит процесс заряда конденсатора фильтра  $C_0$ , который определяется значениями  $RT$ ,  $L_0$ ,  $C_0$ . Одновременно с этим в информационную часть схемы подается питание (напряжения  $U_1 - U_8$ ). В процессе выдержки времени на установление напряжений стабилизированных источников питания  $U_1 - U_8$  аппаратная защита  $FA$  блокирует открывание ключей инвертора и происходит запуск программы управления процессором по аппаратно формируемой команде «Рестарт».

Выполняется инициализация. Производится запись начальных условий в ячейки ОЗУ процессора и определяется способ управления – местное или дистанционное. Если с датчиков тока фаз двигателя  $IA_A$ ,  $IA_B$ ,  $IA_C$ , аппаратной защиты  $FA$ , напряжения сети  $U_c$ , а также от всех каналов вторичного источника питания поступает информация о нормальных параметрах, то ЭП готов к

работе и на цифровой индикатор выводятся нули, светится светонизлучающий диод «Подача». В противном случае загорается светонизлучающий диод «Авария» и на цифровом индикаторе появляется код срабатывания той или иной защиты.

Для управления двигателем процессор формирует систему трехфазных синусоидальных напряжений, изменяемых по частоте и амплитуде, и передает их в модулятор, в котором синусоидальные сигналы управления фазами – «стойками» инвертора, состоящими из последовательно включенных ключей IGBT, преобразуются в дискретные команды включения и отключения транзисторов. Несущая частота ШИМ составляет от 5 до 15 кГц.

Единовременное замыкание 2ух ключей в «стойке» инвертора блокируется с целью учёта действительного времени запираия транзисторов в ходе переключения вводится «мертвое» время, которое составляет единицы микросекунд (в это время вышеупомянутые ключи разомкнуты).

Микропроцессор TMS 320 2812 позволяет реализовать векторное или скалярное управление координатами двигателя. САУ технологического объекта, в состав которой входит вышеупомянутый ПЧ, может представлять из себя – разомкнутую систему, замкнутую обратными связями по различным каналам. Технологический объект диктует требования к алгоритму управления, который может быть перепрограммирован.

Силовая часть остается неизменной и пригодной для использования иных способов управления координатами электродвигателя при возможности применения других микропроцессорных средств.

### 3.2. Составлении схемы управления регулируемого электропривода

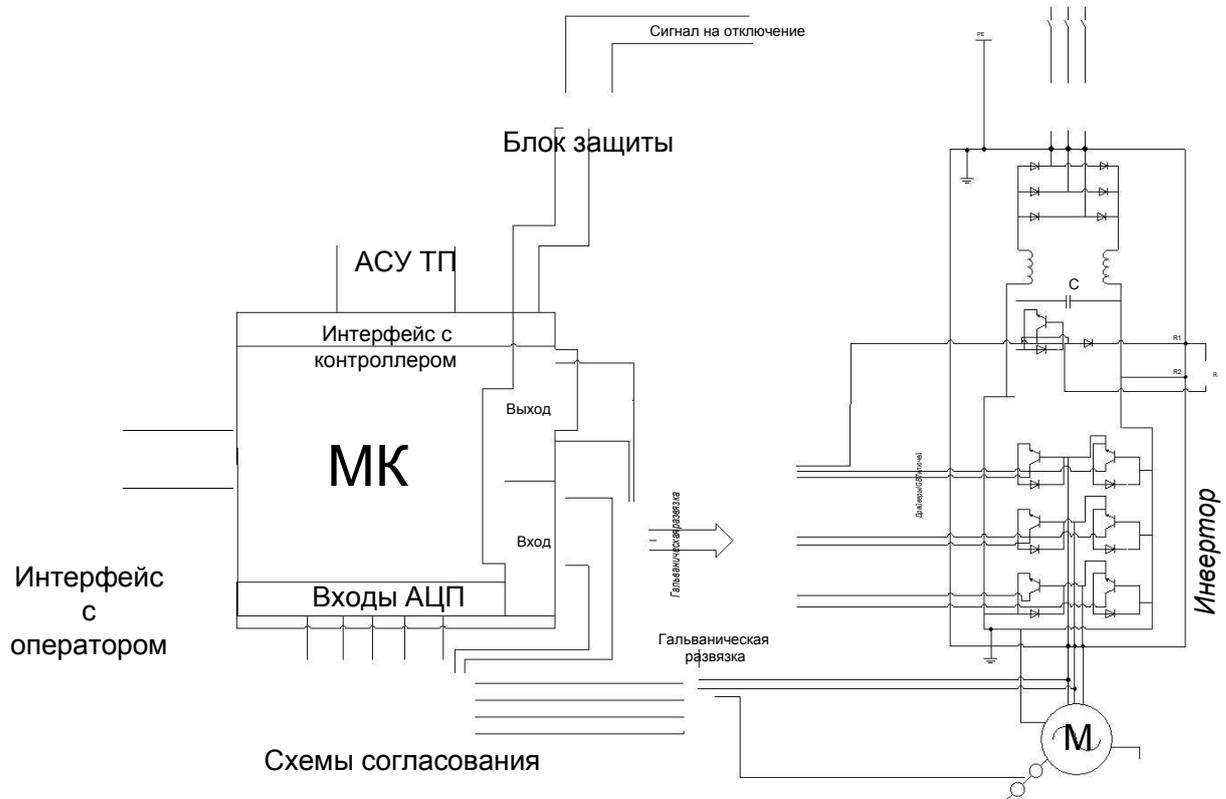


Рисунок 22 - Схема управления регулируемого электропривода

Представленная схема позволяет реализовать микропроцессорное управление как разомкнутых, так и замкнутых систем с обратными связями по нескольким сигналам. В качестве микроконтроллера используется специализированный МК серии MotorControl.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА БУРОВОГО НАСОСА ПО СИСТЕМЕ ПЧ – АД С К.З. РОТОРОМ»**

<p><b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b></p>	<p>1. Описание рабочего места на предмет :          – Описание места проведения работ по разделу;          – проявлений факторов техносферной безопасности;          – Объекта воздействия на окружающую среду (экологическая безопасность);          – Места возникновения ЧС (в основном опасность пожара);          – п.5. организация работы отдела охраны труда (либо комплексного отдела – ОТ ПБ и ООС), его место расположение</p>
<p><b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b></p>	<p>1. Анализ <b>вредных</b> факторов, проектируемой производственной среды в следующей последовательности:          – выдержки из действующих нормативов на нормы с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно технический документ);          -- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем индивидуальные защитные средства)          - описание технических систем, обеспечивающих требования нормативов</p> <p>2. Анализ <b>опасных</b> факторов проектируемой производственной среды в нижележащей последовательности          -- механические опасности (источники, средства защиты)          -- термические опасности (источники, средства защиты)          -- электробезопасность ( в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты);</p> <p>3. Охрана окружающей среды:          - защита селитебной зоны;          - анализ влияния объекта на атмосферу (выбросы);          - анализ влияния объекта на гидросферу (сбросы);          - анализ влияния объекта на литосферу (отходы);          - разработать меры для обеспечения экологической безопасности с учетом ссылки на НТД по охране ОС.</p> <p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:          - перечень возможных ЧС на объекте;          - либо, выбор наиболее типичной ЧС (пожаровзрыво- безопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения);          разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;          разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;          разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p> <p>2. Вопросы права и организации обеспечения безопасности:          специальные (которые характерны для проектируемой рабочей зоны          - организационные меры для управления охраной труда, ООС, ЧС;          Перечень законодательных и нормативных документов в порядке их цитирования по пунктам раздела</p>
<p><b>Перечень расч-го и граф-го материала</b></p>	<p>Расчеты для искусственного освещение помещения (устройство защитного заземления, планы эвакуации, ликвидация загрязнения ОС и т.п.)</p>

<p><b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b></p>	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры ЭБЖ	А.Г. Дашковский	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Б	Лопакон Максим Владимирович		



## Введение

С развитием научно-технического прогресса немаловажную роль играет возможность безопасного исполнения людьми своих трудовых обязанностей. В связи с этим была создана и развивается наука о безопасности труда и жизнедеятельности человека.

*Безопасность жизнедеятельности (БЖД)* - это комплекс мероприятий, направленных на обеспечение безопасности человека в среде обитания, сохранение его здоровья, разработку методов и средств защиты путем снижения влияния вредных и опасных факторов до допустимых значений, выработку мер по ограничению ущерба в ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций мирного и военного времени.

4  
7

## Введение

С развитием научно-технического прогресса немаловажную роль играет возможность безопасного исполнения людьми своих трудовых обязанностей. В связи с этим была создана и развивается наука о безопасности труда и жизнедеятельности человека.

*Безопасность жизнедеятельности (БЖД)* - это комплекс мероприятий, направленных на обеспечение безопасности человека в среде обитания, сохранение его здоровья, разработку методов и средств защиты путем снижения влияния вредных и опасных факторов до допустимых значений, выработку мер по ограничению ущерба в ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций мирного и военного времени.

*Цель и содержание БЖД:*

- обнаружение и изучение факторов окружающей среды, отрицательно влияющих на здоровье человека;
- ослабление действия этих факторов до безопасных пределов или исключение их если это возможно;
- ликвидация последствий катастроф и стихийных бедствий.
- Круг практических задач БЖД прежде всего обусловлен выбором принципов защиты, разработкой и рациональным использованием средств защиты человека и природной среды от воздействия техногенных источников и стихийных явлений, а также средств, обеспечивающих комфортное состояние среды жизнедеятельности.
- Охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасности условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний и производственного травматизма составляет одну из главных забот человеческого общества. Обращается внимание на необходимость широкого применения прогрессивных форм научной организации труда, сведения к минимуму ручного, малоквалифицированного труда, создания обстановки, исключающей профессиональные заболевания и производственный травматизм.

На рабочем месте должны быть предусмотрены меры защиты от возможного воздействия опасных и вредных факторов производства. Уровни этих факторов не должны превышать предельных значений, оговоренных правовыми, техническими и санитарно-техническими нормами. Эти нормативные документы обязывают к созданию на рабочем месте условий труда, при которых влияние опасных и вредных факторов на работающих либо устранено совсем, либо находится в допустимых пределах.

В данном разделе предполагается рассмотреть безопасность и экологичность помещения, в котором будет эксплуатироваться система регулируемого электропривода бурового насоса по системе ПЧ-АД с к.з ротором. Здесь будет рассматриваться обеспечение необходимых условий труда в лаборатории (санитарно-гигиенические нормы, защита от негативных производных факторов, обеспечение пожаро-безопасности) в соответствии с действующим регламентом и вопросы экологической безопасности.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICCSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

#### **4. Производственная безопасность**

##### **4.1 Описание технологического процесса и рабочего места**

Технологический процесс разработки и проверки системы регулируемого электропривода бурового насоса по системе ПЧ-АД с к.з ротором заключается в следующем:

- Ознакомление и анализ литературы (статьи, диссертации, учебные пособия и монографии) по данной тематике.
- Создание метода разработки регулируемого электропривода бурового насоса по системе ПЧ-АД с к.з ротором.
- Компьютерное моделирование системы управления.
- Анализ полученных результатов моделирования.

#### **4.1 Описание технологического процесса и рабочего места**

Технологический процесс разработки и проверки системы регулируемого электропривода бортового насоса по системе ПЧ-АД с к.з ротором заключается в следующем:

- Ознакомление и анализ литературы (статьи, диссертации, учебные пособия и монографии) по данной тематике.
- Создание метода разработки регулируемого электропривода бортового насоса по системе ПЧ-АД с к.з ротором.
- Компьютерное моделирование системы управления.
- Анализ полученных результатов моделирования.

- Проверочные мероприятия для разрабатываемой системы управления с использованием реального двигателя.
  - Проведение анализа результатов проверки.
- Выполнение сравнительного анализа результатов компьютерного моделирования и результатов, полученных с использованием реального двигателя.

В вышеописанном технологическом процессе основное оборудование это:

- асинхронный двигатель с к.з. ротором;
- шкаф управления- диагностики;
- преобразователь частоты;
- пользовательский компьютер;
- монитор.

#### **4.2 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению**

При эксплуатации подвижных средств непрерывного действия необходимо учитывать наличие и возможность воздействия следующих вредных факторов:

[14]

- наличие повышенного уровня шума и вибрации (в машинных залах насосных и воздуходувных станций и в других помещениях и сооружениях, где была произведена установка технологического оборудования);
  - наличие недостаточной освещенности рабочей зоны (в колодцах, камерах, каналах и т.п.);
- наличие повышенного количества пыли в воздухе зоны работы пылеобразующими реагентами (сернистый алюминий, хлорное железо, негашеная и хлорная известь, сода, едкий натр, активированный уголь, фторосодержащие реагенты и др.).

### 4.2.1 Микроклимат

Микроклимат (температура, относительная влажность, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения) и содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны должны быть в пределах санитарно-гигиенических норм, что обеспечивается: [15]

а) при незначительных перегревах воздуха и умеренных выбросах паров, газов, аэрозоля - применением организованной естественной вентиляции;

б) при значительных уровнях теплового воздействия и выбросов загрязнителей - устройством принудительной вентиляции, обеспечивающей снижение температуры воздуха и концентрации загрязнителей до допустимых пределов притоком свежего воздуха в рабочую зону.

Источники интенсивных выбросов загрязнителей должны оборудоваться местной вытяжной вентиляцией непосредственно от них.

При невозможности достижения нормативных показателей микроклимата воздуха рабочей зоны должна обеспечиваться защита работников системами местного кондиционирования, воздушного душирования, средствами индивидуальной защиты, регламентом трудового процесса. [16]

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 7.

Таблица 7

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22 - 24	21 - 25	60 - 40	0,1
	Iб (140 - 174)	21 - 23	20 - 24	60 - 40	0,1
	IIa (175 - 232)	19 - 21	18 - 22	60 - 40	0,2
	IIб (233 - 290)	17 - 19	16 - 20	60 - 40	0,2
	III (более 290)	16 - 18	15 - 19	60 - 40	0,3
Теплый	Ia (до 139)	23 - 25	22 - 26	60 - 40	0,1
	Iб (140 - 174)	22 - 24	21 - 25	60 - 40	0,1
	IIa (175 - 232)	20 - 22	19 - 23	60 - 40	0,2
	IIб (233 - 290)	19 - 21	18 - 22	60 - 40	0,2
	III (более 290)	18 - 20	17 - 21	60 - 40	0,3

В соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1) значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются, для рабочей зоны производственных помещений, в зависимости от категории тяжести выполняемой работы, величины явного избытка тепла выделяемого в помещении и периода года.

#### 4.2.2 Шум и вибрация

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Основные производственные процессы, сопровождающиеся шумом, — это работа насосов, вентиляторов и др.. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания,

замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности.

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты по ГОСТ 12.4.011 – 89;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука и звукового давления на рабочих местах производственных помещений представлены в таблице 8

Таблица 8

Помещения, рабочие места	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	

Окончание таблицы 8

Помещения для инженерно-технического персонала цехов и служб	79	70	68	58	55	52	50	49	60
Помещения для размещения шумного оборудования	94	87	82	78	75	73	71	70	80
Мастерские механические и по ремонту оборудования с собственными источниками шума	99	92	86	83	80	78	76	74	85
Комнаты мастеров механической мастерской, мастеров по ремонту оборудования	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий представлены в таблице 9

Таблица 9

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательных движений, см/с
0,6-0,4	До3	1,12-0,76	22-14
0,4-0,15	3-5	0,76-0,46	14-15
0,15-0,05	5-8	0,46-0,25	15-13
0,05-0,03	8-15	0,25-0,28	13-27
0,03-0,009	15-30	0,28-0,17	27-32
0,009-0,007	30-50	0,17-0,22	32-70
0,007-0,005	50-75	0,22-0,23	70-112
0,005-0,003	75-100	0,23-0,19	112-120

Приведенные нормы одинаковы для горизонтальных и вертикальных вибраций.

Для того, чтобы снизить влияние вибрирующих машин и другого оборудования на организм человека применяют нижеперечисленные меры и средства: [17]

- замена инструмента или оборудования с вибрирующими рабочими органами на невибрирующие в процессах,
- применение виброизоляции вибрирующих машин относительно основания (например, применение рессор, резиновых прокладок, пружин, амортизаторов);
- использование дистанционного управления в технологических процессах (например, использование телекоммуникаций для управления транспортом из соседнего помещения);
- использование автоматики в технологических процессах, где работают вибрирующие машины (например, управление по заданной программе);
- использование ручного инструмента с виброзащитными рукоятками, специальной обуви и перчаток.

#### 4.2.3 Освещение помещений подвижных механизмов

Согласно СНиП 23.05-95 «Естественное и искусственное освещение» необходимы следующие меры:

- Для осветительных установок помещений механизмов перемещения принимается напряжение 380/220В с глухо заземлённой нейтралью. Питание осветительных сетей помещений конвейерного транспорта осуществляется от трансформаторов собственных нужд 6/0,38 кВ, питающих одновременно и силовые токоприемники в этих помещениях.
- Размещение осветительной арматуры в конвейерных галереях и эстакадах зависит от количества параллельных ниток конвейеров. При наличии одной конвейерной нитки светильники располагаются в два ряда по боковым стенкам. При наличии двух конвейерных ниток осветительная арматура устанавливается в три ряда над проходами.
- Аварийное освещение предусматривается только для проходов между установками, с использованием минимального количества светильников.
- Сеть штепсельных розеток выполняется по всей длине галерей (эстакады) с установкой розеток через 20 - 25 м. В галереях и эстакадах при

конвейерном транспортировании торфа штепсельные розетки не устанавливаются, а ремонтное освещение осуществляется переносными аккумуляторными фонарями во взрывобезопасном исполнении.

- Высота установки светильников в эстакадах, как правило, должна быть 2,5 - 3 м.

Характеристика зрительной работы: общее наблюдение за ходом производственного процесса, периодическое при периодическом пребывании людей в помещении. Применяется освещение всей рабочей зоны общим освещением в 75 лк при показателе ослепленности  $P_{\text{ср}}=40$  и коэффициенте пульсации  $K_{\text{п}}=20\%$  (для ламп накаливания); [18]

Характеристика зрительной работы: ремонт установки, работа малой и очень малой точности (размер объектов различения от 1 до 5 мм и свыше 5 мм).

Это разряд зрительной работы V, VI. Применяется освещение при техническом осмотре трассы конвейера или отдельных ремонтируемых мест общим освещением в 200 лк при показателе ослепленности  $P_{\text{ср}}=40$  и коэффициенте пульсации  $K_{\text{п}}=20\%$  (для ламп накаливания).

#### **4.3. Анализ опасных факторов**

Опасными производственными факторами при эксплуатации регулируемого электропривода бортового насоса по системе ПЧ-АД с к.з. ротором являются:

- образования пожароопасных смесей газов, опасность загорания (пожара);
- опасность электропоражения работающего в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- движущихся элементов оборудования;
- отлетающих предметов и частей оборудования;
- падающих предметов и инструментов (при работах в скважинах, на очистных сооружениях и сетях, в помещениях и др.).

### 4.3.1 Загорание (пожар)

Пожары – неконтролируемый процесс горения, которые чреват большими материальными издержками, а часто и человеческими жертвами.

Обеспечение пожаробезопасности начинается с определения класса взрывоопасной зоны или класса пожароопасной зоны данного производственного помещения. Согласно классификации производств по пожарной опасности (ППБ-03) рассматриваемая лаборатория относится к классу В (обработка или применение твердых сгораемых веществ и материалов, а также жидкостей с температурой выше 120 градусов): электроизоляция, бумага, мебель. Т.е. технологический процесс в лаборатории исключает взрывоопасную зону, имеющиеся вещества могут только гореть. Лаборатория имеет пожароопасную зону класса П-2а. Минимальная допустимая степень защиты оболочек электрических машин для данной пожароопасной зоны обозначается IP44. Использование данной степени защиты – одно из направлений профилактики, оно должно быть установлено на объектах, где воздействие опасных факторов пожара может привести к травматизму или гибели людей, этого требует «технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Выбор типа и расчет необходимого числа огнетушителей производится в зависимости от их огнетушащей способности. Из пяти таких классов, лаборатории подходит класс А (пожар твердых веществ) и класс Е (горение электроустановок). Согласно [19] на 800 м<sup>2</sup> защищаемой площади рекомендуется использовать восемь двухкилограммовых порошковых огнетушителей. Для лаборатории достаточно одного двухкилограммового огнетушителя ОП.

### 4.3.2 Электропоражение

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно

правилам устройства электроустановок (ПУЭ), рассмотреть следующие вопросы:

- а) обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- б) требования к электрооборудованию;
- в) анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;
- г) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;
- д) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Рассматриваемая лаборатория не имеет характеристик, свойственных особо опасным помещениям в части поражения электрическим током.

Необходимо применение основных коллективных способов и средств электрозащиты: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защитное заземление и защитное отключение.

Также, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000 В используются диэлектрические перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

#### **4.4 Защита окружающей среды**

Работа в лаборатории сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.

Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения - ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения и др. органов дыхания человека; бытовая пыль; ЛОС, выделяющиеся в процессе эксплуатации отделочных материалов, лакокрасочных покрытий мебели и др. Перед

выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014) [20]: бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [21]. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой,

заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные брызгами лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из неадсорбирующего ртути материала (винипласта).

К сфере защиты ОС и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электротепловую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и электроустановок (котельных) промпредприятий города Томска и области и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Несмотря на кажущуюся малость вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

#### **4.5 Предотвращение ЧС и устранение их последствий**

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации на каротажной станции: возникновение пожара и электропоражение.

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно - техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком  $0,5 \text{ м}^3$ .

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действий администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [22] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [16].

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья, т.е. пострадавшему должна быть обеспечена скорая медицинская помощь. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением при пробое изоляции или в других случаях, необходимо рассчитать и установить защитное заземление.

#### **4.6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

В соответствии с Трудовым кодексом РФ, в целях обеспечения требований охраны труда осуществляется контроль за их выполнением, в каждой организации численностью более 100 сотрудников создается служба охраны труда. Либо заключается договор со специалистами. Служба охраны труда подчиняется руководителю предприятия. На должность специалиста по охране труда назначаются имеющие квалификацию инженера по охране труда или прошедшие специальное обучение.

В нашем случае на предприятии 20 человек, поэтому, в соответствии с Трудовым кодексом, на производстве с численностью более десяти человек должны создаваться комитеты по охране труда, в состав которых входят представители работодателя и профсоюзов. Задачами комитета являются: организация по обеспечению выполнения работниками требований по охраны

труда, контроль за соблюдением охраны труда, информация о состоянии охраны труда. Комитет по охране труда ведет учет и анализ производственного травматизма и профессиональных заболеваний, измерение величин опасных и вредных факторов, оценку травмобезопасности, аттестацию рабочих мест, приемку в эксплуатацию производственных объектов, согласование документации в области охраны труда, участие в расследовании несчастных случаев, обучение по охране труда в соответствии со следующими документами:

- Трудовой кодекс РФ;
- ГОСТ 12.0.003–74 ССБТ;
- ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ;
- ГОСТ 12.0.004-90 ССБТ;
- ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ;
- ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ;
- СНиП П-12-77;
- СанПиН 1757-77;
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03;
- СНиП 2.04. 05-91.

#### 4.7. Расчет заземления

Данные для расчёта заземления:

3. Заземление необходимо выполнить для установки, работающей под напряжением 380 В.

4. Для заземления используем трубы диаметром 4 мм и длиной 2,5 м и сталь полосовую 18х4 мм.

5. Заземлители расположены в ряд.

6. Характер грунта в месте установки заземления — глина. Заземлители установлены на глубину (от верхнего конца трубы) 17 см, а расстояние между трубами принимаем равной трём длинам заземлителей, т.е.  $a=2$  м.

Верхние концы соединены с помощью полосовой стали. Определим, что для данного случая по нормам допускается сопротивление не более 4 Ом.

Удельное сопротивление глины составляет  $\rho_T = 0,6 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ .

Учитывая применение грунта зимой и просыхания его летом, определяем расчётные значения  $\rho_{\text{э}}$  и  $\rho_n$  при использовании трубчатых заземлителей соединительной полосы и соединительной полосы:

$$\rho_{\text{э}} = \rho_T \cdot \kappa_{\text{э}} = 0,6 \cdot 10^4 \cdot 1,9 = 1,14 \cdot 10^4 \text{ (Ом} \cdot \text{см)},$$

где  $\kappa_{\text{э}} = 1,9$  - коэффициент для вертикальных электродов;

$$\rho_n = \rho_T \cdot \kappa_n = 0,6 \cdot 10^4 \cdot 5 = 3 \cdot 10^4 \text{ (Ом} \cdot \text{см)},$$

где  $\kappa_n = 5$  - коэффициент для горизонтальных электродов.

Определим величину сопротивлений одной забитой в землю трубы по выражению:

$$R_{\text{э}} = \frac{\rho_{\text{э}}}{2 \cdot \pi \cdot l_m} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l_m}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot h_m + l_m}{4 \cdot h_m \cdot l_m} \right),$$

где  $h_m$  - глубина заземления,  $h_m = 750$

см;  $l_m$  - длина заземления,  $l_m = 250$  см;

$d$  - диаметр заземления,  $d = 0,4$  см.

$$R_{\text{э}} = \frac{1,14 \cdot 10^4}{6,28 \cdot 250} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 250}{0,4} + 0,5 \cdot \ln \frac{750 + 250}{750 \cdot 250} \right) = 54,4 \text{ Ом.}$$

9 шт.

Определим число заземлителей:

$$= \frac{54,4}{6} =$$

Учитывая, что трубы соединены заземлительной полосой, которая выполняет роль заземлителя, уменьшаем число труб до 6 штук. Определим длину соединительной полосы:

$$l_m = 1,05 \cdot a \cdot (n-1) = 1,05 \cdot 2 \cdot (6-1) = 10,5 \text{ м,}$$

где  $n$  - число заземлителей;

$a$  - расстояние между заземлителями.

Размер резервуара 5x5 м, длина соединительной полосы вписывается в его размер.

Результирующее сопротивление (полосы и трубы) с учётом коэффициента использования труб  $J_{\text{т}}=0,85$  и полосы  $J_{\text{л}}=0,86$  определяется по формуле:

$$R_{\text{рез}} = \frac{54,4 \cdot 7,26}{54,4 \cdot 0,85 + 7,26 \cdot 0,86} = 385 \text{ Ом}$$

Данная величина удовлетворяет требованиям защитного заземления.

Контроль заземления производится при приёме в эксплуатацию, а также периодически, в сроки, установленные правилами, при перекомпоновке оборудования и ремонте заземлителей.

Схема расположения устройства защитного заземления по отношению к резервуару показана на рисунке 23.

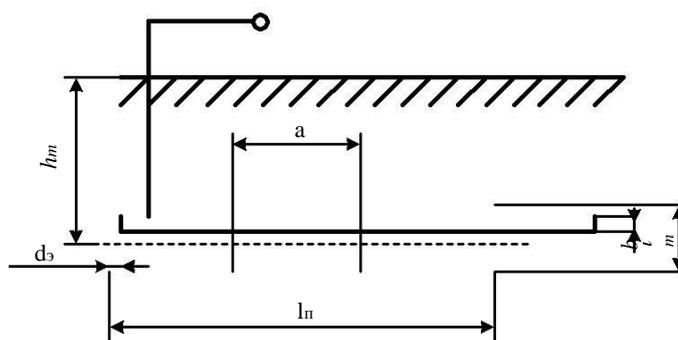


Рисунок 23 – Схема защитного заземления В данном случае выполняем выносное заземление. Заземлители рас-

полагаются на некотором удалении от резервуара. Поэтому заземление корпуса находится вне поля растекания и человек, касаясь корпуса, оказывается под полным напряжением относительно земли. Выносное заземление защищает за счёт малого сопротивления заземлителей.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ  
МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Г2Б	Лопиков Максим Владимирович

<b>Институт</b>	<b>Энергетический</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭПЭО</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	Электрооборудование и электрохозяйство промышленных предприятий, организаций и учреждений

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, финансовых и человеческих ресурсов.	Материальные затраты, основная заработная плата, дополнительная заработная плата, отчисления, накладные расходы.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений	В соответствии с Налоговым кодексом РФ ЕСН=30 %

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Планирование комплекса работ (определение состава работы, определение действующих лиц, установление длительности работы)	Расчет временных показателей проведения научного исследования. Составление календарного план-графика
2. Расчет бюджета для научно-технического исследования (определение материальных затрат, подсчет основной заработной платы исполнителей)	Расчет сметы затрат
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет показателя конкурентоспособности

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Диаграмма Ганта
2. Бюджет затрат НИИ

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Трофимова М.Н.			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5Г2Б	Лопиков Максим Владимирович		

## **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

### **5.1. SWOT-анализ проекта**

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [23].

Применительно к проектируемой АСР уровня, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 10.

	<p><b>Сильные стороны проекта:</b></p> <p>C1. Высокая энергоэффективность и энергосбережение технологи.</p> <p>C2. Экологичность технологии.</p> <p>C3. Квалифицированный персонал.</p> <p>C4. Повышение безопасности производства</p> <p>C5. Уменьшение затрат на ремонт оборудования</p>	<p><b>Слабые стороны проекта:</b></p> <p>Сл1. Трудность монтажа системы</p> <p>Сл2. Дороговизна оборудования</p> <p>Сл3. Сложность эксплуатации электрооборудования</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>B1. Увеличение производительности электрооборудования</p> <p>B2. Появление дополнительной автоматизированной системы управления каротажной станцией</p> <p>B3. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые на производстве каротажной станции</p> <p>B4. Появление более простых универсальных электрических систем внутризаводской сети</p>	<p>B1C1C2C3C4;</p> <p>B2C1C5;</p> <p>B3C5;</p> <p>B4C1C4C5;</p>	<p>B2Сл1Сл2;</p> <p>B3Сл2;</p> <p>B4Сл1Сл2Сл3;</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на технологии производства</p> <p>У2. Ограничения на экспорт технологии</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции</p>	<p>У1С3;</p> <p>У3С5;</p>	<p>У1Сл1Сл2;</p> <p>У3Сл2;</p>

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

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы; «+» – сильное соответствие;

«-» – слабое соответствие;

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 11 и 12, показывает, что сильных сторон у проекта значительно больше, чем слабых.

Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 11

	Сильные стороны проекта					
		С1	С2	С3	С4	С5
Возможности	В1	+	+	+	+	-
	В2	+	-	-	+	-
	В3	-	+	-	-	+
	В4	+	+	-	+	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	В1	-	-	-		
	В2	+	+	+		
	В3	-	+	-		
	В4	-	-	-		

Таблица 12

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	-	+	-	-
	У2	+	-	-	+	-
	У3	-	-	-	+	+
	У4	+	-	+	-	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	У1	+	+	-		
	У2	-	-	+		
У3	-	+	+			
У4	-	-	+			

## 5.2. Планирование научно-исследовательских работ

### 5.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 13 .

Таблица 13 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

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

### 5.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к.

зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

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

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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

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

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

### 5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

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

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

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

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = \frac{365}{299} = 1,22$$

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 14.

Таблица 14-Временные показатели проведения научного исследования

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

Составление пояснительной записки	4	7	4	7	14	7	5,2	9,8	5,2	1	1	1	5,2	9,8	5,2	6,3	11,9	6,3
Публикация полученных результатов	1	1	1	7	7	7	3,4	3,4	3,4	1	1	1	3,4	3,4	3,4	4,1	4,1	4,1

Итого длительность работ в календарных днях при использовании

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

На основе строим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта, с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени написания ВКР.

Календарный план-график построенный для максимального по длительности второго варианта исполнения работ рамках научно-исследовательского проекта приведен в таблице 15.

Таблица 15-Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель и инженер	3,5	■													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель и инженер	3,2	■													
3	Выбор направления исследований	Научный руководитель и инженер	3,8	■													
4	Календарное планирование работ по теме	Инженер	2,1		■												
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	7,4		■												
6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Научный руководитель и инженер	19			■	■										
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Инженер	6,3					■	■								
8	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель и инженер	6							■							
9	Составление пояснительной записки	Инженер	9,3								■						
10	Публикация полученных результатов	Инженер	5,1									■					

#### 5.2.4. Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i}$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м,  $m^2$  и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ $m^2$  и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента ( $k_T$ ), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 16.

Таблица 16 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, ( $Z_M$ ), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Преобразователь частоты	Штука	1	1	1	157000	157000	157000	157000	157000	157000
Авт. Выключатель	Штука	6	6	6	98	98	98	588	588	588
Двигатель	Штука	1	1	1	10990	10990	10990	12000	12000	12000
Сигнализация	Штука	1	1	1	2000	2000	2000	2500	2500	2500
Датчики	Штука	3	3	3	1000	1000	1000	1100	1100	1100
Итого								173498	173498	173498

### 5.2.5. Основная заработная плата исполнителей темы

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

Таблица 17 - Расчет основной заработной платы

№п /п	Наименование этапов			Исполнители по категориям			Трудо-емкость, чел.-дн.			Зарплата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего зарплата по тарифу (окладам), тыс. руб		
	Исн.1	Исн.2	Исн.3	Исн.1	Исн.2	Исн.3	Исн.1	Исн.2	Исн.3	Исн.1	Исн.2	Исн.3	Исн.1	Исн.2	Исн.3
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель	1,3	6,3	2,9	1883,24	1883,24	1883,24	1883,24	1883,24	2448,2	11684,41	5461,4
			Инженер											1624,18	
2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель	1,3	6,1	3,6	1883,24	1883,24	1883,24	1883,24	1883,24	2448,2	11162,8	6779,6
			Инженер											1624,18	
3	Выбор направления исследований	Научный руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель	1,7	5,8	1,7	1883,24	1883,24	1883,24	1883,24	1883,24	3201,5	10922,8	3201,5
			Инженер											1624,18	
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель	1,3	1,3	3,4	987,85	1206,56	1206,56	1206,56	1206,56	1284,2	1563,2	3358,9
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	Инженер	Инженер	5,8	11,2	5,8	1883,24	1848,18	1848,18	1848,18	1848,18	12226,5	20699,4	12226,5
			Научный руководитель						1206,56					13513,8	

6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер	Инженер	Инженер	31,4	31,4	9,8	1563,28	1563,28	1563,28	74104	74104	23128
		Научный руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель				1883,24	1883,24	1883,24	69174	69174	21589
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Инженер	Научный руководитель	Инженер	6,8	12	6,8	1563,28	1883,24	1883,24	10628	25598,8	10628
			Инженер						1624,18			19488,3	
8	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер	Научный руководитель	Инженер	3,2	7,4	3,2	1563,28	1883,24	1883,24	5001,6	13935,9	5001,6
			Инженер						1624,18			12017,6	
			Инженер										
9	Составление пояснительной записки	Инженер	Инженер	Инженер	5,1	9,4	5,1	1563,28	1563,28	1563,28	7972,7	14694,3	7972,7
10	Публикация полученных результатов	Инженер	Инженер	Инженер	3,6	3,6	3,6	1563,28	1563,28	1563,28	2627,8	2627,8	2627,8
Итого:											182116,7	361167,4	105475

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

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

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

Расчет баланса рабочего времени приведен в таблице 18.

Таблица 18 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	35	30
- невыходы по болезни	16	12
Действительный годовой фонд рабочего времени	248	257

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

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

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{\text{тс}}$ );

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от

$Z_{\text{тс}}$ );  $k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 19 .

Таблица 19 -Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$ , руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$ , руб	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Научный руководитель	28000	0,3	0,15	1,3	52780	2111,2	229	538642,6
Инженер	18000	0,3	0,5	1,3	33930	1413,75	226	428691
Лаборант	13000	0,3	0,3	1,3	30420	1216,8	251	324389
Итого								1291723

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор (см. «Положение об оплате труда», приведенное на интернет-странице Планово-финансового отдела ТПУ).

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

#### **5.2.6. Дополнительная заработная плата исполнителей темы**

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 19.

### 5.2.7. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлено в таблице 20 .

Таблица 20 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Научный руководитель	11720,97	86127,08	19012,26	1462,38	17215,95	3116,42
Инженер	103119,5	163141,4	13689,47	14148,46	21016,42	1625,62
Лаборант	41164,34	72631,1	67375,8	5062,73	7462,82	6873,79
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	4736,42					
Исполнение 2	97680,9					
Исполнение 3	28401,6					

### 5.2.8. Накладные расходы

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

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. [20]

Расчет величины накладных расходов приведен в таблице 21 .

Таблица 21 - Накладные расходы

	$Z_{\text{накл}}$ , руб.
Исполнение 1	31038,91
Исполнение 2	68315,29
Исполнение 3	17890,69

### 5.2.9. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

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

Таблица 22- Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
Материальные затраты НИИ	173498	173498	173498	Пункт 3.1.4
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	191116,7	256167,4	101975	Пункт 3.1.5
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16123,5	35964,2	11236,38	Пункт 3.1.6
Отчисления во внебюджетные фонды	26713,18	26713,18	26713,18	Пункт 3.1.7
Накладные расходы	22346,14	55233,17	12645,29	16 % от суммы ст. 1-5
Бюджет затрат НИИ	476184,52	593963	372290	Сумма ст. 1- 6

### 5.3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

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

*Интегральный показатель финансовой эффективности* научноисследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более)

вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

*Интегральный финансовый показатель* разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп. } i} = \frac{\Phi^i}{\Phi^{\text{max}}}$$

где  $I_{\text{финр}}$  – интегральный финансовый показатель разработки;



$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

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

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

Расчёт интегрального финансового показателя приведен в таблице 23 .

Таблица 23 - Интегральный финансовый показатель

	$I_{финр}^{исп.i}$
Исполнение 1	0,8
Исполнение 2	1
Исполнение 3	0,62

*Интегральный показатель ресурсоэффективности* вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

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

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта приведена в таблице 24 .

Таблица 24 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы 25 .

Таблица 25 - Интегральные показатели ресурсоэффективности

	$I_{pi}$
Исполнение 1	4,05
Исполнение 2	3,5
Исполнение 3	4,6

*Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{испi}$ .)* определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}}, \quad I_{исп.3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{финр.3}}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ( $\Theta_{ср}$ ):

$$\Theta_{ср1} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.(2,3)}}, \quad \Theta_{ср2} = \frac{I_{исп.2}}{I_{исп.(1,3)}}, \quad \Theta_{ср3} = \frac{I_{исп.3}}{I_{исп.(1,2)}}$$

В таблице 26 приведена сравнительная эффективность разработки

Таблица 26 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1		Исп.2		Исп.3	
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,8		1		0,62	
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,05		3,5		4,6	
3	Интегральный показатель эффективности	5,06		3,5		7,4	
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	По отношению к исп.2	По отношению к исп.3	По отношению к исп.1	По отношению к исп.3	По отношению к исп.1	По отношению к исп.2
		1,44	0,68	0,69	0,47	1,46	2,11

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

## Заключение

В результате разработки дипломного проекта регулируемого электропривода бурового насоса по системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель произведен расчет параметров и выбор основных силовых элементов, расчет и проверка области существования электромеханических характеристик электропривода, построение характеристик таких как: электромеханические характеристики, регулировочные характеристики. Разработаны функциональная и принципиальная схемы регулируемого электропривода. Дано описание их работы.

Также можно сделать вывод, что применение преобразователей частоты на насосных станциях позволяет:

- экономить электроэнергию, за счет организации работы электропривода в зависимости от реального потребления воды (эффект экономии 20-50%);
- уменьшить затраты на плановый и капитальный ремонт сооружений и оборудования (всей инфраструктуры подачи воды), в результате пресечения аварийных ситуаций, вызванных в частности гидравлическим ударом, который нередко происходит в случае использования нерегулируемого электропривода (ресурс службы оборудования повышается минимум в 1,5 раза);
- достичь определенной экономии тепла в системах горячего водоснабжения за счет снижения потерь воды, несущей тепло;
- при необходимости сделать напор выше обычного.

Смоделирована в среде MATLAB 2010 система ПЧ-АД и получены переходные процессы, удовлетворяющие технологическому процессу.

## Список литературы

1. Медведев Г.Г., Дорохов А.Р. Введение в курс Насосы, вентиляторы, компрессоры. – Конспект лекций. Томск: Изд. ТПУ, 1998. – 64 с
2. СНиП 2.04.02-84\* «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».
3. <http://ufk-techno.ru/1228.htm>
4. [http://www.uptc.ru/product/nasos-1d-1250-63-a-b\\_34](http://www.uptc.ru/product/nasos-1d-1250-63-a-b_34)
5. <http://www.softstarter.ru/invertors/es025/es025-04-4700f.html/>
5. <http://alltransistors.com/ru/igbt/transistor.php?transistor=1485>
6. Электротехнический справочник: Использование электрической энергии / Под общ.ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). – 8-е изд., – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 696 с.
- 7 Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Расчет характеристики электроприводов переменного тока. Часть 1. Асинхронный двигатель. Учебное пособие./Томский политехнический университет. – Томск: Издательство ТПУ, 2005.–136 с.
8. <http://www.electricline.ru/vcd-3292-6-22455/goodsinfo.html>
9. <http://www.tek-el.ru/catalog/item/875025>
10. <http://cable-set.com/kabel-i-provod-vodopogruzhnoy>
11. Насосы. Вентиляторы. Кондиционеры: Справочник/Е.М. Росляков, Н.В. Коченков, И.В. Золотухин др., Под редакцией Е.М. Росляков – СПб.: Политехника, 2006. – 822с.
12. <http://electrical.agroserver.ru/elektrostantsii-elektrosnabzhenie/tiristory-i-diody-ot-100-do-2000-amper-9030.htm>
13. [http://studopedia.ru/9\\_200414\\_lektsiya---ekonomicheskie-i-tehnicheskie-aspekti-proektirovaniya-elektroprivodov-promishlennih-ustanovok-v-energoberegayushchih-rezhimah.html](http://studopedia.ru/9_200414_lektsiya---ekonomicheskie-i-tehnicheskie-aspekti-proektirovaniya-elektroprivodov-promishlennih-ustanovok-v-energoberegayushchih-rezhimah.html)
14. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). “Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.”
15. ГОСТ 12.1.005-88 “Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.”

16. ГОСТ 12.1.003-83 “Шум. Общие требования безопасности.”
17. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
18. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т “Пожарная безопасность. Общие требования.”
19. СП 9.13130.2009 “Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации.”
20. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
21. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т “Пожарная безопасность. Общие требования.”
22. ГОСТ Р 50571.3-94 “Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защиты от поражения электрическим током.”
23. Майсак О. С. SWOT-анализ: объект, факторы, стратегии. Проблема поиска связей между факторами // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. — 2013. — № 1 (21). — С. 151—157
24. <http://docs.cntd.ru/document/5200291>