

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

---

Институт электронного обучения  
Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника  
Кафедра Электропривода и электрооборудования

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Регулируемый электропривод для транспортировки руды на предприятии "Медная обогатительная фабрика"

УДК 62-83-52:622.732

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Кучимов Рустам Панжиевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Аристов Анатолий Владимирович	д.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	к.х.н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭПЭО	Дементьев Юрий Николаевич	к.т.н., доцент		

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

---

Институт электронного обучения  
Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника  
Кафедра Электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_ Дементьев Ю.Н.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2Б1	Кучимов Рустам Панжиевич

Тема работы:

Регулируемый электропривод ленточного конвейера	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

Исходные данные к работе	Техническая документация
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Общие сведения; выбор электрооборудования; расчет естественных характеристик регулируемого электропривода; расчет статических механических и электромеханических характеристик при частотном законе регулирования скорости; создание математической модели и проведение имитационного моделирования работы в MATLABSIMULINK; социальная ответственность; финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.
<b>Перечень графического материала</b>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Король Ирина Степановна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко Аркадий Альбертович

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

**Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику**

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Професор	Аристов Анатолий Владимирович	Д.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Кучимов Рустам Панжиевич		

## Оглавление

Введение .....	
2 1.Расчет и выбор силового оборудования регулируемого электропривода...2	
1.1 Расчет мощности двигателя и предварительный его выбор.....3	
1.2 Выбор преобразовательного устройства для регулируемого электропривода.....6	
1.3 Расчет и выбор основных силовых элементов регулируемого электропривода.....7	
1.4 Выбор аппаратуры управления и защиты.....10	
1.5 Расчет и выбор типа и сечения кабеля сети высокого напряжения.....10	
1.6 Расчет сечения и типа кабеля для вспомогательного оборудования.....10	
1.7 Расчет энергетических показателей электропривода.....11	
2. Расчет статических и динамических характеристик для разомкнутой системы регулируемого электропривода.....16	
2.1 Расчет естественных характеристик $\omega=f(I)$ , $\omega=f(M)$ регулируемого электропривода.....16	
2.2 Расчет искусственных (регулирующих) характеристик $\omega=f(I)$ , $\omega=f(M)$ регулируемого электропривода для заданного диапазона регулирования скорости.....19	
2.3 Расчет механических переходных характеристик $\omega=f(t)$ и $M = f(t)$ при пуске, набросе и сбросе нагрузки при мгновенном изменении задания.....24	
3. Расчет параметров структурной схемы.....29	
3.1 Составление структурной схемы системы регулируемого электропривода.....29	
3.2 Расчет коэффициентов усиления и постоянных времени регулируемого электропривода.....30	
4. Разработка функциональной схемы системы регулируемого электропривода.....31	
4.1 Составление силовой схемы регулируемого электропривода.....31	

4.2 Составление схемы управления регулируемого электропривода.....	32
4.3. Составление схемы в программе <i>MATLAB simulink</i> .....	33
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	40
6. Социальная ответственность.....	67

## **Введение**

Сочетание тенденции к расширению областей применения регулируемого электропривода с техническими возможностями каскадных схем электропривода переменного тока позволяет считать, что асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания являются перспективным видом регулируемого электропривода для широкого круга механизмов.

Спроектирован электропривод наклонного конвейера, для транспортировки горной руды в предприятии «Медная обогатительная фабрика» Конвейер построен на базе двигателя переменного тока, удовлетворяющий заданным параметрам и режимам работы. В качестве передаточного устройства используется редуктор, а в качестве управляющего используются командоаппарат совместно с ПЛК и система импульсно-фазового управления.

# 1. Расчет и выбор силового оборудования регулируемого электропривода

## 1.1. Расчет мощности двигателя и предварительный его выбор

Перед расчетом мощности двигателя, необходимо определить размеры конвейера (рисунок 1).

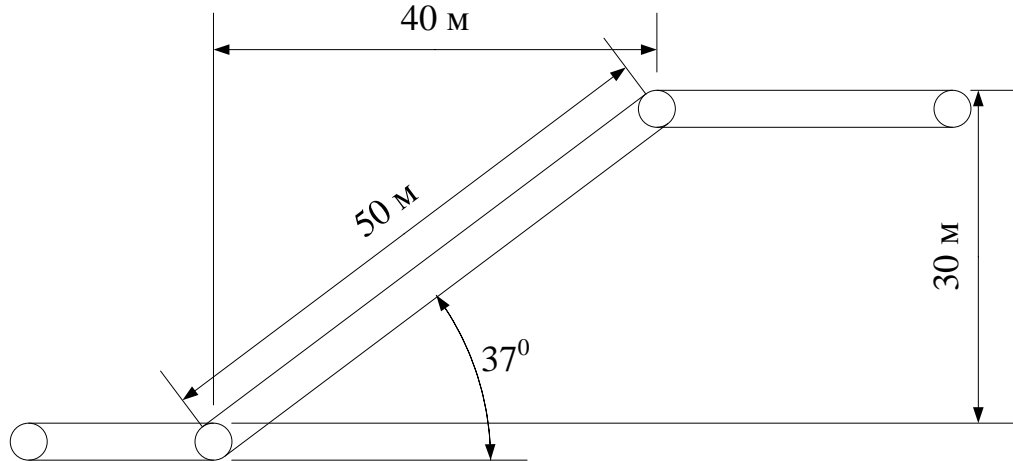


Рисунок 1 – схема устройства конвейера

Расчет электропривода осуществляется для наклонной части конвейера.

Вес груза, находящегося в данный момент на ленте, определится из соотношения:

$$G = \frac{Q_{\text{г}} \cdot L}{V_{\text{max}} \cdot 3.6} = \frac{700 \cdot 50}{0.6 \cdot 3.6} = 17.3 \text{ т}$$

Удельный вес груза, приходящийся на 1 метр ленты:

$$\gamma_{\text{гп}} = \frac{G}{L} \cdot 1000 = \frac{17.3}{50} = 347.2 \text{ кг/м}$$

Точный расчет потерь во всех элементах конвейера весьма сложен из-за наличия большого количества гнезд трения. Приближенно можно учитывать силы сопротивления движению при движении грузовой и порожней частей ленты по роlikоопорам, исходя из следующих формул:

Для грузовой ветви:

$$\begin{aligned} F_{\text{с.г.}} &= (\gamma + \gamma_{\text{гп}}) \cdot L \cdot \cos(\beta) \cdot \omega^{\text{л}} + (\gamma + \gamma_{\text{гп}}) \cdot L \cdot \sin(\beta) = \\ &= (20 + 347.2) \cdot 50 \cdot \cos(37^{\circ}) \cdot 0.024 + (20 + 347.2) \cdot 50 \cdot \sin(37^{\circ}) = 11368 \text{ Н} \end{aligned}$$

где  $\omega^{\text{л}}$  - коэффициент сопротивления движению, принимаемы равным 0.024 для средних условий работы конвейера.

Для порожней ветви:

$$F_{C.П.} = \gamma \cdot L \cdot \cos(\beta) \cdot \omega^{\setminus} - \gamma \cdot L \cdot \sin(\beta) = \\ = 20 \cdot 50 \cdot \cos(37^{\circ}) \cdot 0.024 - 20 \cdot 50 \cdot \sin(37^{\circ}) = -580.9 \text{ Н}$$

Мощность, необходимая для привода конвейера, может быть определена из приближенной формулы:

$$F = \frac{(F_{C.П.} + F_{C.Г.}) \cdot V_{\max} \cdot c}{102 \cdot \eta_{ПЕР}} = \frac{(-580.9 + 11368) \cdot 0.6}{102 \cdot 0.95} \cdot 1.12 = 74.8 \text{ кВт}$$

где  $c=1.12$  – опытный коэффициент, учитывающий потери на жесткость ленты;  $\eta_{ПЕР}$  – примерный КПД передачи от двигателя до ведущего барабана.

Учитывая, что механическая характеристика АВК достаточно мягкая, а так же наличие дополнительных элементов в роторной цепи, что снижает момент привода в целом, выбираем мощность двигателя с запасом 40%:

$$P_{РАСЧ} = F \cdot 1.4 = 74.8 \cdot 1.4 = 104.7 \text{ кВт}$$

Выбираем асинхронный двигатель с фазным ротором 4АНК 250 М4 У3 со следующими паспортными данными, (таблица 1):

Таблица 1. Паспортные данные приводного двигателя.

$P_n$ кВт	$n_i$ об/мин	$R_1^{\setminus}$ о.е.	$R_2^{\setminus\setminus}$ о.е.	$X_{\sigma 1}^{\setminus}$ о.е.	$X_{\sigma 2}^{\setminus\setminus}$ о.е.	$X_m^{\setminus}$ о.е.	$\cos(\varphi)$ -
110	1500	0,53	0,13	0,56	0,23	4.3	0.97
$U_1$ В	$S_n$ -	$S_k$ -	$I_{2n}$ А	$E_{2i}$ В	$J_{\sigma\sigma}$ кг · м <sup>2</sup>	$\eta_n$ -	$m_k$ -
220	0.035	0.18	260	250	2.5	0.92	2.5

Определим номинальный ток статора двигателя:

$$I_H = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1f} \cdot \cos(\varphi) \cdot \eta} = \frac{110000}{3 \cdot 220 \cdot 0.97 \cdot 0.92} = 186.7 \text{ А}$$

Номинальный момент двигателя:



$$M_H = \frac{P_H}{n_0 \cdot (1 - s_n)} \cdot 9.55 = \frac{110000}{1500 \cdot (1 - 0.035)} \cdot 9.55 = 725.7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Коэффициент трансформации напряжения асинхронной машины:

$$k_e = 0.95 \cdot \frac{U_{1л}}{E_{2н}} = 0.95 \cdot \frac{380}{250} = 1.44$$

Параметры схемы замещения электродвигателя:

$$Z_B = \frac{U_{1ф}}{I_H} = \frac{220}{186.7} = 1.18 \text{ Ом}$$

$$R_1 = R_1^{\lambda} \cdot Z_B = 0.022 \cdot 1.18 = 0.026 \text{ Ом}$$

$$X_1 = X_{\sigma 1}^{\lambda} \cdot Z_B = 0.078 \cdot 1.18 = 0.092 \text{ Ом}$$

$$R_2^{\lambda} = R_2^{\lambda\lambda} \cdot Z_B = 0.031 \cdot 1.18 = 0.037 \text{ Ом}$$

$$X_2^{\lambda} = X_{\sigma 2}^{\lambda\lambda} \cdot Z_B = 0.1 \cdot 1.18 = 0.118 \text{ Ом}$$

$$X_m = X_m^{\lambda} \cdot Z_B = 4.3 \cdot 1.18 = 5.065 \text{ Ом}$$

Исходя из наших расчетов выбранный нами асинхронный двигатель с фазным ротором - 4АНК 250 М4 УЗ должен полностью подходить под наши требования.

## 1.2. Выбор преобразовательного устройства для регулируемого электропривода

Для пуска и регулирования скорости двигателя по системе АВК используются комплектные устройства пуска асинхронных двигателей с фазным ротором. Для их выбора необходимо знать следующие параметры:

1. Номинальная мощность двигателя: 110 кВт;
2. Номинальный ток ротора: 260 А;
3. Номинальное напряжение ротора: 250 В;
4. Номинальный ток статора: 186.7 А;
5. Номинальное напряжение питания двигателя: 220 В.

Для управления таким двигателем выбираем ККПУФ-300/250-00-ДХ-XXX со следующими параметрами:

1. Номинальная мощность двигателя: 110 кВт;
2. Номинальный ток ротора: 300 А;
3. Номинальное напряжение ротора: 250 В;
4. Номинальный ток статора: 208 А;
5. Номинальное напряжение питания двигателя: 220 В.

Для согласования скоростей двигателя и механизма используем редуктор. Принимаем радиус главного барабана  $R_B=0.4$  метра, тогда передаточное число редуктора определим как:

$$i = \frac{n_0}{\frac{V_{\max}}{R_B} \cdot 9.55} = \frac{1500}{\frac{0.6}{0.4} \cdot 9.55} = 105$$

Принимаем передаточное число редуктора  $i=70$ .

Выбираем редуктор SK11407 с передаточным отношением 70 и номинальной передаваемой мощностью 110 кВт.

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

Аппаратура вентильного каскада: выпрямитель, инвертор и трансформатор инвертора – по своей мощности зависит от требуемой глубины регулирования скорости вращения, т.е. от требуемого максимального скольжения.

Выбор вентиля выпрямителя роторной группы:

Вентили выпрямителя выбираются по значению выпрямленного тока, который определяется как:

Номинальный выпрямленный ток ротора двигателя:

$$I_{dn} = \frac{I_{2n}}{0.78} = \frac{260}{0.78} = 333 \text{ A}$$

Максимальное скольжение определяется как:

$$s_{\max} = \frac{n_0 - \frac{V_{\max} \cdot D}{R_B} \cdot i \cdot 9.55}{n_0} = \frac{1500 - \frac{0.6 \cdot \frac{1}{3} \cdot 56 \cdot 9.55}{0.25}}{1500} = 0.72$$

Ток статора в режиме короткого замыкания:

$$I_{1K3} = \left| \frac{U_{1f}}{\frac{jX_m \cdot (jX_2' + R_2')}{X_m + jX_2' + R_2'} + R_1 + jX_1} \right| = \left| \frac{220}{\frac{j5.065 \cdot (j0.118 + 0.037)}{5.065 + j0.118 + 0.037} + 0.026 + j0.092} \right| = 1019 \text{ A}$$

ЭДС ротора стоящего двигателя:

$$E_r = \left| I_{1K3} \cdot \frac{jX_m \cdot (jX_2' + R_2')}{jX_m + jX_2' + R_2'} \right| = \left| 1019 \cdot \frac{j5.065 \cdot (j0.118 + 0.037)}{j5.065 + j0.118 + 0.037} \right| = 122.8 \text{ B}$$

Максимальное выпрямленное ЭДС:

$$E_{дп} = 1.35 \cdot E_r \cdot s_{\max} = 1.35 \cdot 122.8 \cdot 0.72 = 128.8 \text{ B}$$

Принимаем вентили типа ВЧ2-200-3, номинальный ток которых  $I_{д}=200 \text{ A}$ , а обратное напряжение  $U_{обп}=150 \text{ B}$ .

Число параллельно соединенных вентилях:

$$n_{ПАР} = \frac{I_{дн}}{3 \cdot 0.9 \cdot k_r \cdot k_e \cdot k_k \cdot k_n \cdot I_{д}} = \frac{333}{3 \cdot 0.9 \cdot 0.92 \cdot 0.9 \cdot 0.9 \cdot 200} = 0.92$$

где  $k_r$  – коэффициент, учитывающий снижение допустимого тока через вентиль при работе с низкой частотой;

$k_e$  – коэффициент, учитывающий снижение допустимого тока через вентиль при скорости движения охлаждающего воздуха меньше 15 м/сек;

$k_k$  – коэффициент, учитывающий снижение допустимого тока через вентиль вследствие конструктивного ухудшения условий охлаждения;

$k_n$  – коэффициент, учитывающий снижение допустимого тока через вентили при их параллельном соединении.

Число последовательно соединенных вентиляей:

$$n_{Посл} = \frac{1.045 \cdot E_{ДР}}{0.9 \cdot U_{ОБР}} = \frac{1.045 \cdot 128.8}{0.9 \cdot 150} = 1$$

Выбор трансформатора инвертора:

Трансформатор выбирается по току и напряжению вторичных обмоток:

$$E_{2т} = \frac{E_{ДР}}{k_2 \cdot \cos(\beta_{\min})} = \frac{128.8}{2.34 \cdot 0.965} = 57 \text{ В}$$

$$I_{2т} = 0.815 \cdot I_{дн} = 0.815 \cdot 333 = 271.7 \text{ А}$$

где  $k_2$  – коэффициент, зависящий от схемы выпрямления;

$\beta_{\min}$  – минимальный угол открывания тиристоров.

Тогда необходимая мощность трансформатора:

$$S_{2т} = 3 \cdot E_{2т} \cdot I_{2т} = 3 \cdot 57 \cdot 271.7 = 46.5 \text{ кВА}$$

Принимаем трансформатор ТПЗ-63 мощность 63 кВт. Параметры данного трансформатора приведены в таблице 2.

Таблица 2. Паспортные данные трансформатора инвертора.

$S_{тр}$ , кВА	$U_{2тр}$ , В	$\Delta P_{ХХ}$ , Вт	$P_{КЗ}$ , Вт	$U_{КЗ}$ , %
63	42	290	1280	4

Определим другие необходимые параметры трансформатора:

Линейная ЭДС:

$$E_{2t} = U_{2t} \cdot \sqrt{3} = 42 \cdot \sqrt{3} = 72.7 \text{ В}$$

Ток вторичной обмотки:

$$I_{2t} = \frac{S_{2t}}{3 \cdot E_{2t}} = \frac{63000}{3 \cdot 72.7} = 288.7 \text{ А}$$

Активное сопротивление обмоток:

$$r_t = \frac{P_{K3}}{3 \cdot I_{2t}^2} = \frac{1280}{3 \cdot 288.7^2} = 5.1 \text{ мОм}$$

Полное сопротивление обмоток:

$$z_t = \frac{E_{2t} \cdot U_{K3}}{100 \cdot I_{2t}} = \frac{72.7 \cdot 4}{100 \cdot 288.7} = 10 \text{ мОм}$$

Реактивное сопротивление обмоток:

$$x_t = \sqrt{z_t^2 - r_t^2} = \sqrt{10^2 - 5.1^2} = 8.7 \text{ мОм}$$

Выбор инвертора:

Тиристоры инверторы выбираются по току и по вторичному выпрямленному напряжению.

Принимаем тиристоры Т161-125, номинальный ток которых  $I_{ТИР}=196 \text{ А}$ , обратное напряжение  $U_{ОБР}=300 \text{ В}$ .

Число параллельно соединенных тиристоров:

$$n_{ПАР} = \frac{I_{дн}}{3 \cdot 0.9 \cdot k_r \cdot k_g \cdot k_{\kappa} \cdot k_n \cdot I_{ТИР}} = \frac{333}{3 \cdot 0.9 \cdot 0.92 \cdot 0.9 \cdot 0.9 \cdot 196} = 0.94$$

Число последовательно соединенных тиристоров:

$$n_{ПОСЛ} = \frac{1.045 \cdot E_{ДР}}{0.9 \cdot U_{ОБР}} = \frac{1.045 \cdot 128.8}{0.9 \cdot 300} = 0.5$$

Так же исходя из выше представленных расчетов выбираем вентили выпрямители типа ВЧ2-200-3, номинальный ток которых  $I_{Д}=200 \text{ А}$ , а обратное напряжение  $U_{ОБР}=150 \text{ В}$ ; выбираем трансформатор инвертора ТПЗ-63 мощность 63 кВт; выбираем тиристоры Т161-125 с номинальным током Т161-125 и обратным напряжением Т161-125.

#### **1.4. Выбор аппаратуры управления и защиты**

Для подключения двигателя к сети выбираем нереверсивный магнитный пускатель серии ПЛ12 с тепловым реле и номинальным током 250 А и номинальным питающим напряжением катушки 220 В.

Для подключения пусковых реостатов и выпрямителя выбираем нереверсивный магнитный пускатель LC1E ШЭ с номинальным током 300 А и номинальным напряжением 220 В.

Для защиты двигателя от перегрева и короткого замыкания выбираем автоматический выключатель ВА51-35 с номинальным током 250А, номинальным током теплового реле 200 А, и уставе электромагнитного расцепителя 12.

Кроме того для управления электроприводом выбираем ПЛК LOGO.

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

Для подключения двигателя к сети необходим медный кабель для прокладки в воздухе сечением 50 мм<sup>2</sup> на ток 225 А, а для соединения роторной цепи выбираем такой же кабель, но сечением 95 мм<sup>2</sup> на ток 335 А. для этих целей подойдёт трехжильный медный кабель серии ВВГ.

#### **1.6. Расчет сечения и типа кабеля для вспомогательного оборудования**

Для подключения ПЛК необходим медный провод серии ВВГ сечением 1,5 мм<sup>2</sup> так как входной ток его около 0,1 А.

В данном разделе были выбраны- магнитный пускатель серии ПЛ12 с тепловым реле для подключения двигателя к сети, а для подключения пусковых реостатов был выбран нереверсивный магнитный пускатель LC1E ШЭ, ВА51-35 авто-выключатель для защиты двигателя от перегрева и КЗ, для управления электроприводом были выбраны ПЛК LOGO т.к. являются наиболее простыми моноблоками.

#### **1.7. Расчет энергетических показателей электропривода**

**Определим зависимость КПД и коэффициента мощности привода от скорости при заданной характеристике статического момента.**

Постоянные потери асинхронного двигателя равны:

$$K_{АД.Н} = P_H \cdot \frac{1-\eta_H}{\eta_H} - M_H \cdot \frac{n_0}{9.55} \cdot s_H \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot 0.001 =$$

$$= 110 \cdot \frac{1-0.92}{0.92} - 725.7 \cdot \frac{1500}{9.55} \cdot 0.035 \cdot \left(1 + \frac{0.026}{0.037}\right) \cdot 0.001 = 2.74 \text{ кВт}$$

Постоянные потери в вентильном каскаде:

$$K_{АВК} = 1.05 \cdot K_{АД.Н} + \Delta P_{ХХ} = 1.05 \cdot 2.74 + 0.29 = 3.17 \text{ кВт}$$

Эквивалентное сопротивление вентильного каскада:

$$R_{АВК} = 2 \cdot \frac{R_2}{k_e^2} + 2 \cdot \frac{R_1}{k_e^2} + 2 \cdot r_t = 2 \cdot \frac{0.037}{1.44^2} + 2 \cdot \frac{0.026}{1.44^2} + 2 \cdot 5.1 \cdot 10^{-3} = 0.07 \text{ Ом}$$

Переменные потери зависят от нагрузки, поэтому задаваясь разными значениями моментов, определим сначала ток, а затем и переменные потери в системе, в зависимости от момента нагрузки, по следующим выражениям:

$$I_d(M) = \frac{\sqrt{2} \cdot E_r \cdot k_e^2}{2 \cdot X_1} - \sqrt{\frac{E_r^2}{2 \cdot X_1^2} \cdot k_e^4 - \frac{\sqrt{2} \cdot n_0 \cdot M}{1.35 \cdot 9.55 \cdot X_1} \cdot k_e^2} =$$

$$= \frac{\sqrt{2} \cdot 122.8 \cdot 1.44^2}{2 \cdot 0.092} - \sqrt{\frac{122.8^2}{2 \cdot 0.092^2} \cdot 1.44^4 - \frac{\sqrt{2} \cdot 1500 \cdot M}{1.35 \cdot 9.55 \cdot 0.092} \cdot 1.44^2}$$

$$V_{АВК}(M) = \frac{(I_d(M))^2 \cdot R_{АВК} + 3 \cdot I_d(M) \cdot \Delta U}{1000} = \frac{(I_d(M))^2 \cdot 0.07 + 3 \cdot I_d(M) \cdot 1.5}{1000}$$

где  $\Delta U$  – падение напряжения на тиристорах и диодах.

В свою очередь полезный момент на валу двигателя также зависит от момента нагрузки и от скорости вращения вала:

$$P_{ПОЛ}(M, n) = \frac{M \cdot n}{9.55 \cdot 1000}$$

Тогда КПД системы будет определяться как:

$$\eta(M, n) = \frac{P_{ПОЛ}(M, n)}{P_{ПОЛ}(M, n) + V_{АВК}(M) + K_{АВК}}$$

Результаты расчета КПД представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты расчета КПД системы

$m$	$M_n \cdot m$ Н·м	$I_d$ А	$V_{ABK}$ кВт	$P_{Поль}$ кВт					
				п, об/мин					
				0	300	600	900	1200	1500
0.4	290.3	297.6	7.5	0	9.1	18.2	27.4	36.5	45.6
0.6	435.4	468.4	17.5	0	13.7	27.4	41	54.7	68.4
0.8	580.6	661.3	33.6	0	18.2	36.5	54.7	73	91.2
1	725.7	888	59.3	0	22.8	45.6	68.4	91.2	114
1.2	870.9	1177	102.4	0	27.4	54.7	82	109.4	136.8
1.4	1016	1675	204.4	0	31.9	63.8	95.8	127.7	159.6

Продолжение таблицы 3.

$M$	$\eta$					
	п, об/мин					
	0	300	600	900	1200	1500
0.4	0	0.46	0.63	0.72	0.77	0.81
0.6	0	0.4	0.57	0.66	0.73	0.76
0.8	0	0.33	0.5	0.6	0.66	0.71
1	0	0.27	0.42	0.52	0.59	0.65
1.2	0	0.21	0.34	0.44	0.51	0.56
1.4	0	0.13	0.23	0.3	0.38	0.43



Зависимость  $\eta(M,n)$  представлена на рисунке 2.

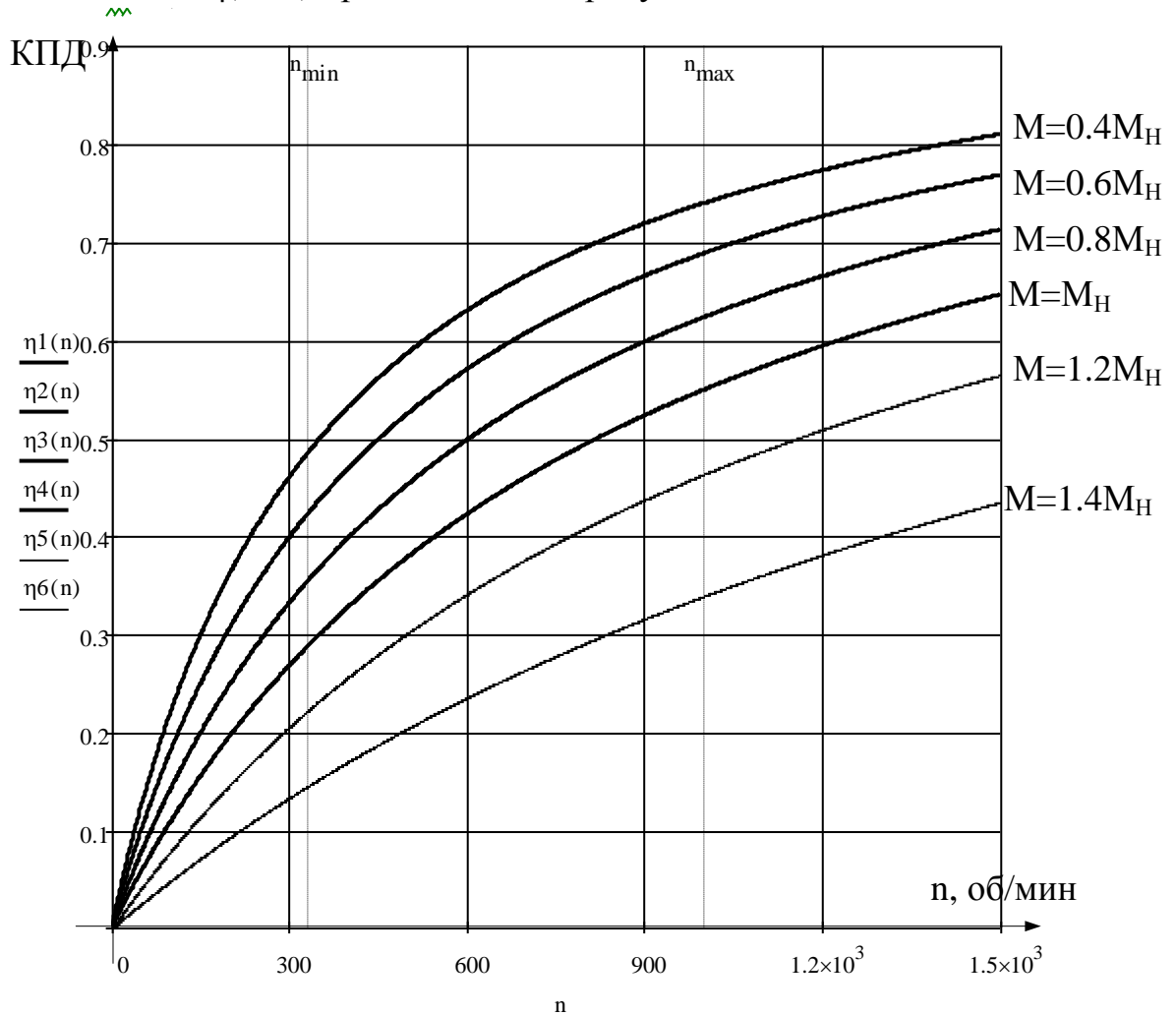


Рисунок 2 – КПД системы

Для определения коэффициента мощности системы необходимо знать:

Реактивная мощность, потребляемая двигателем:

$$Q_{ДВ}(M,n) = \frac{M \cdot n \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}{9.55 \cdot 1000} = \frac{M \cdot n \cdot 0.25}{9.55 \cdot 1000}$$

Активная мощность, потребляемая трансформатором:

$$P_t(M,n) = \frac{M \cdot n}{9.55 \cdot 1000} - P_{ПОЛ}(M,n) - V_{АВК}(M) - K_{АД.Н}$$

Реактивная мощность, потребляемая трансформатором:

$$Q_t(M,n) = \sqrt{S_t - P_t(M,n)}$$

Тогда коэффициент мощности системы определим как:

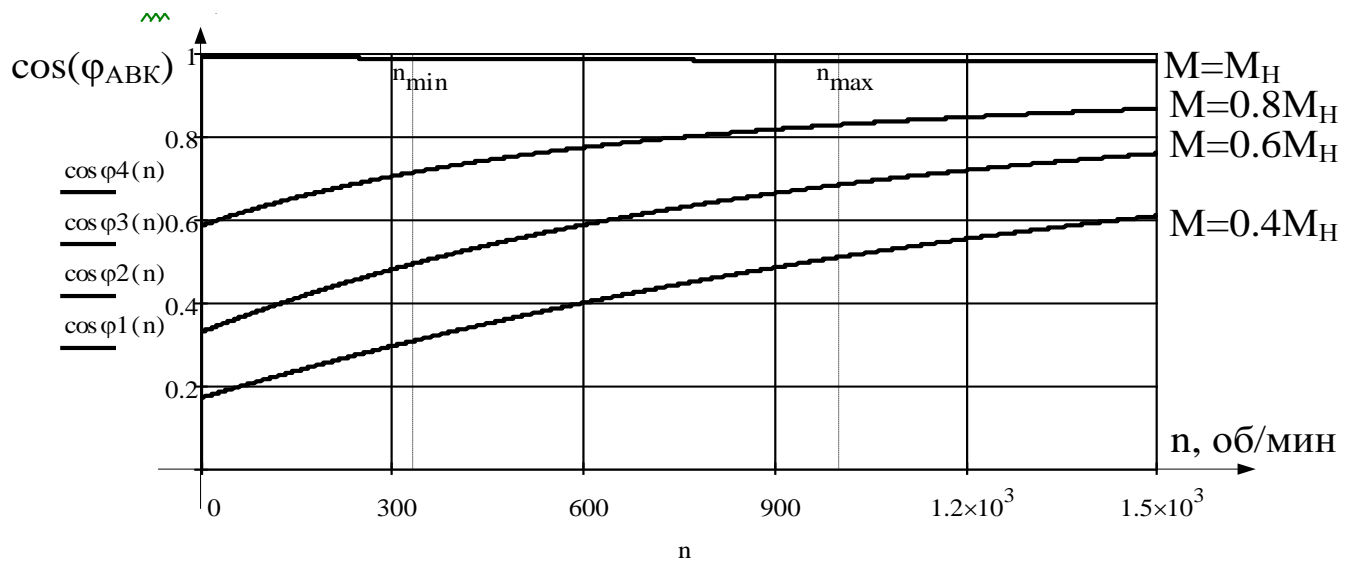
$$\cos(\varphi_{АВК}) = \frac{P_{ПОЛ}(M,n) + V_{АВК}(M) + K_{АД.Н}}{\sqrt{(P_{ПОЛ}(M,n) + V_{АВК}(M) + K_{АД.Н})^2 + (Q_t(M,n) + Q_{ДВ}(M,n))^2}}$$

Результаты расчета коэффициента мощности системы представлены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты расчета коэффициента мощности

$m$	$Q_{ДВ}$ , кВА					
	п, об/мин					
	0	300	600	900	1200	1500
0.4	0	2.3	4.6	6.9	9.1	11.4
0.6	0	3.4	6.9	10.3	13.7	17.2
0.8	0	4.6	9.1	13.7	18.3	22.9
1	0	5.7	11.4	17.1	22.9	28.6
$m$	$P_b$ , кВт					
	п, об/мин					
	0	300	600	900	1200	1500
0.4	-10.7	-10.7	-10.7	-10.7	-10.7	-10.7
0.6	-20.7	-20.7	-20.7	-20.7	-20.7	-20.7
0.8	-36.8	-36.8	-36.8	-36.8	-36.8	-36.8
1	-62.5	-62.5	-62.5	-62.5	-62.5	-62.5
$m$	$Q_b$ , кВА					
	п, об/мин					
	0	300	600	900	1200	1500
0.4	62	62	62	62	62	62
0.6	59.5	59.5	59.5	59.5	59.5	59.5
0.8	51.1	51.1	51.1	51.1	51.1	51.1
1	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3
$m$	$\cos(\varphi_{ABK})$					
	п, об/мин					
	0	300	600	900	1200	1500
0.4	0.17	0.29	0.4	0.48	0.55	0.61
0.6	0.33	0.48	0.59	0.66	0.72	0.76
0.8	0.58	0.7	0.77	0.82	0.85	0.87
1	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98

Зависимость  $\cos(\varphi_{ABK})(M, n)$  представлена на рисунке 3.



*Рисунок 3 – коэффициент мощности системы*

Несмотря на то, что при нагрузке меньше номинальной коэффициент мощности низок, нет необходимости в компенсирующем устройстве, так как в нашем случае система работает с постоянной нагрузкой, равной номинальной.

## 2. Расчет статических и динамических характеристик для разомкнутой системы регулируемого электропривода

### 2.1. Расчет естественных характеристик $\omega=f(I)$ , $\omega=f(M)$ регулируемого электропривода.

Расчёт естественной механической характеристики произведем по следующему выражению:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1f}^2 \cdot R_2' \cdot 9.55}{s \cdot n_0 \cdot \left[ \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.037 \cdot 9.55}{s \cdot 1500 \cdot \left[ \left( 0.026 + \frac{0.037}{s} \right)^2 + (0.092 + 0.118)^2 \right]}$$

Подставляя значения скольжения, получим соответствующие значения момента, развиваемого двигателем. Результаты расчета приведены в таблице 5.

Таблица 5. Расчет естественной механической характеристики

$s$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	0	1714	1930	1711	1463	1256	1093	963	859	775	705

По данным таблицы 5 построена естественная механическая характеристика двигателя, (рисунок 4).

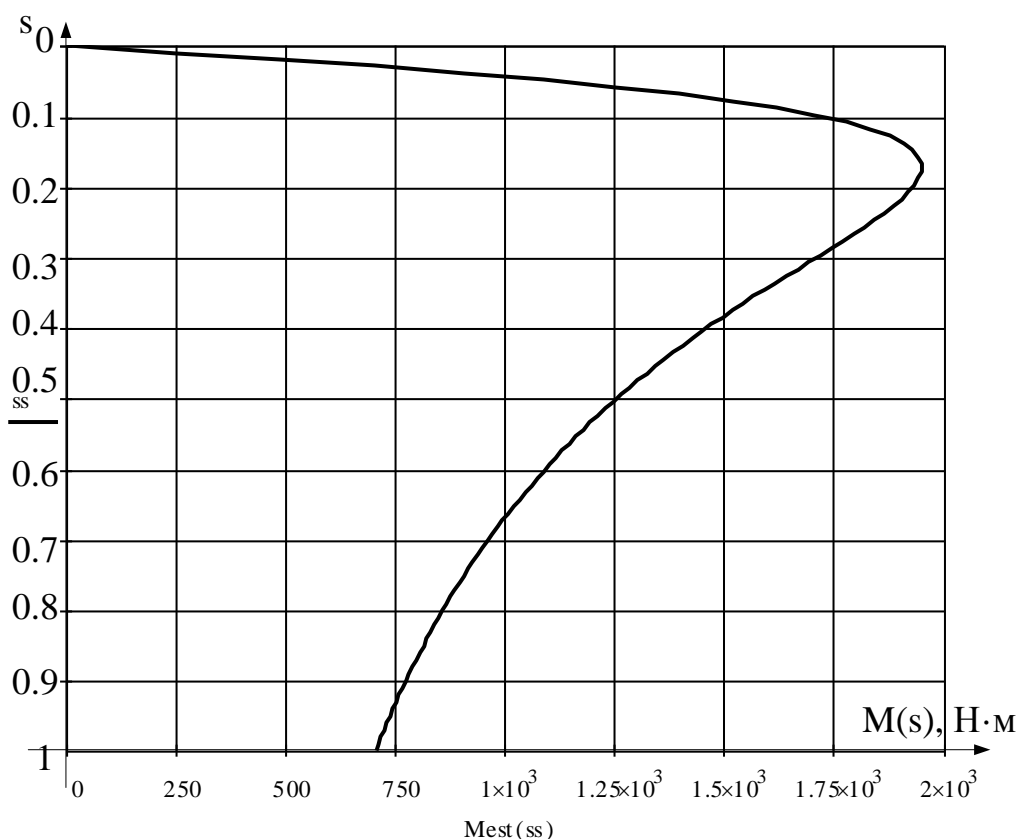


Рисунок 4 – Естественная механическая характеристика

Для построения естественных электромеханических характеристик необходимо знать номинальный приведенный ток ротора и ток холостого хода, которые определяются по следующим выражениям:

Номинальный приведенный ток ротора:

$$I_{2H}^{\lambda} = \frac{U_{1f}^2}{\sqrt{(R_1)^2 + (X_1 + X_2^{\lambda})^2}} = \frac{220^2}{\sqrt{(0.026)^2 + (0.092 + 0.118)^2}} = 1041 \text{ A}$$

Номинальный ток холостого хода:

$$I_{0H} = 0.12 \cdot I_{2H}^{\lambda} = 0.12 \cdot 1041 = 125 \text{ A}$$

Тогда естественные электромеханические характеристики будут описываться следующими выражениями:

$$I_2^{\lambda}(s) = \frac{U_{1f}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2^{\lambda}}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2^{\lambda})^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(0.026 + \frac{0.037}{s}\right)^2 + (0.092 + 0.118)^2}}$$

$$I_1(s) = \sqrt{I_{0H}^2 + (I_2^{\lambda}(s))^2 \cdot (1 + 2 \cdot \alpha)} = \sqrt{125^2 + (I_2^{\lambda}(s))^2 \cdot (1 + 2 \cdot 0.12)}$$

Расчет естественных электромеханических характеристик приведен в таблице 6.

Таблица 6. Расчет естественных электромеханических характеристик

$s$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$I_2, A$	0	495.8	744	857.9	915.9	948.9	969.5	983.3	993	1000	1006
$I_1, A$	125	566	838	963.5	1027	1064	1087	1102	1113	1121	1127

По данным таблицы 6 построены естественные электромеханические характеристики двигателя, (рисунок 5).

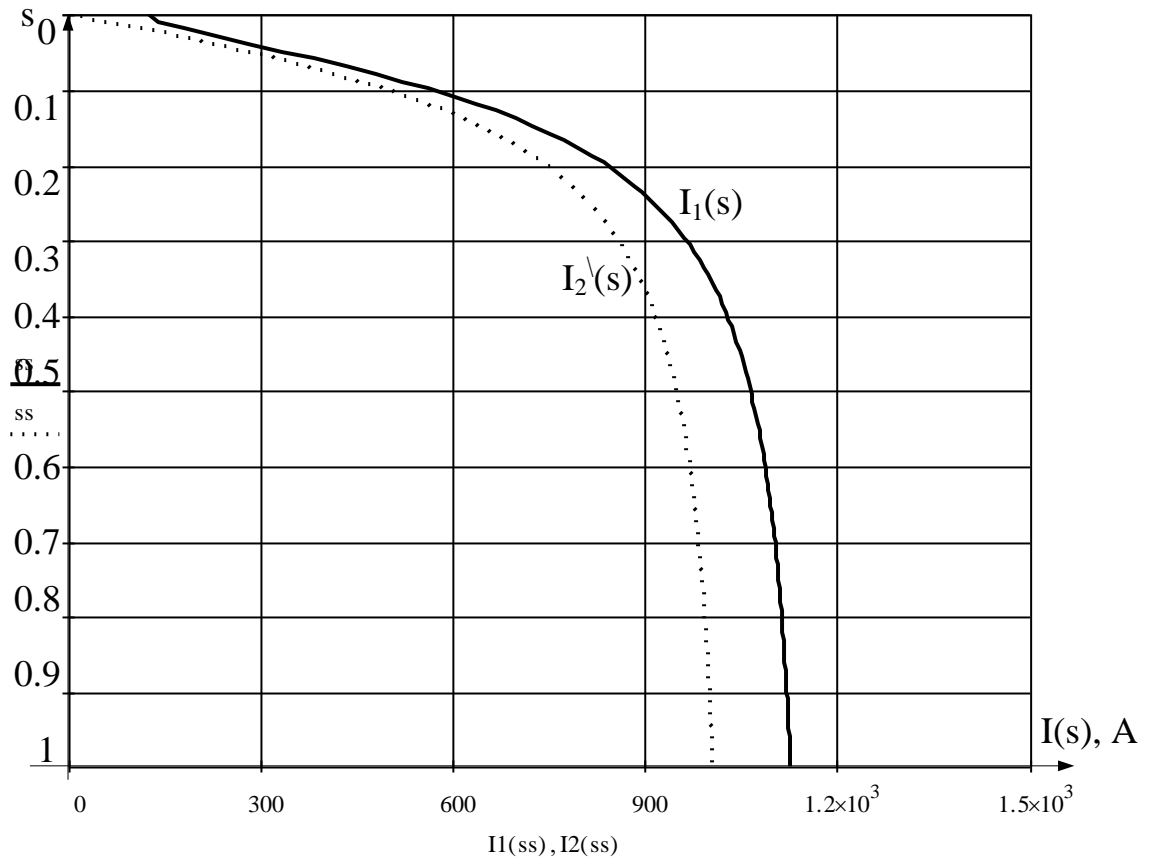


Рисунок 5 – Естественные электромеханические характеристики двигателя

В данном разделе были построены естественная механическая и естественные электромеханические характеристики, значение которых находятся в предельно допустимых значениях.

2.2. Расчет искусственных (регулирующих) характеристик  $\omega=f(I)$ ,  $\omega=f(M)$  регулируемого электропривода для заданного диапазона регулирования скорости.

Расчет искусственных механических характеристик осуществляется по следующим выражениям:

Коэффициент, учитывающий добавочные сопротивления в роторной цепи:

$$\rho = \frac{x_t}{X_1} \cdot k_e^2 + \frac{2 \cdot \pi \cdot R_2'}{3 \cdot X_1} + \frac{2 \cdot \pi \cdot r_t}{3 \cdot X_1} \cdot k_e^2 = \frac{8.7 \cdot 10^{-3}}{0.092} \cdot 1.44^2 + \frac{2 \cdot \pi \cdot 0.037}{3 \cdot 0.092} + \frac{2 \cdot \pi \cdot 5.1 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 0.092} \cdot 1.44^2 = 1.27$$

$$\varepsilon = \frac{2.34 \cdot E_{2r}}{1.35 \cdot E_r} = \frac{2.34 \cdot 72.7}{1.35 \cdot 122.8} = 1.03$$

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_1}{3 \cdot X_1} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0.026}{3 \cdot 0.092} = 0.59$$

Скорость холостого хода будет снижаться при изменении угла управления тиристорных инвертора:

$$s_0(\beta) = \varepsilon \cdot \cos(\beta) = 1.03 \cdot \cos(\beta)$$

Задаваясь несколькими углами управления находим коэффициент А по выражению:

$$A(s, \beta) = \frac{s - s_0(\beta)}{s \cdot (1 + q) + \rho} = \frac{s - s_0(\beta)}{s \cdot (1 + 0.59) + 1.27}$$

Искусственная механическая характеристика будет описываться уравнением:

$$M(s, \beta) = 3.82 \cdot m_k \cdot M_H \cdot \left[ A(s, \beta) - (A(s, \beta))^2 \right] = 3.82 \cdot 2.5 \cdot 727.7 \cdot \left[ A(s, \beta) - (A(s, \beta))^2 \right]$$

Расчет искусственных механических характеристик приведён в таблице 7.

Таблица 7. Расчет искусственной механической характеристики

s	$\beta=90^{\circ}, s_0=0$		$\beta=83^{\circ}, s_0=0.125$		$\beta=75^{\circ}, s_0=0.266$		$\beta=62^{\circ}, s_0=0.482$	
	A	M, Н·м	A	M, Н·м	A	M, Н·м	A	M, Н·м
0	0	0	-0.1	-719	-	-1740	-0.381	-3.651
0.1	0.07	450.2	-	-106.2	-	-895.7	-0.27	-2.379
0.2	0.126	761.8	0.049	-324.7	0.041	-298.7	-0.18	-1475
0.3	0.171	984.5	0.102	634.5	0.02	132.7	-0.107	-819.4
0.4	0.21	1148	0.146	863.3	0.07	452.8	-0.046	-330
0.5	0.242	1270	0.183	1036	0.113	695.9	0.006	43.5
0.6	0.269	1364	0.215	1169	0.15	883.8	0.051	334
0.7	0.293	1437	0.242	1273	0.182	1032	0.089	563.6
0.8	0.314	1494	0.267	1355	0.21	1149	0.123	747.6
0.9	0.333	1539	0.288	1421	0.234	1244	0.153	896.9
1	0.349	1575	0.307	1474	0.256	1321	0.179	1019

По результатам таблицы 7 построены искусственные механические характеристики системы, (рисунок 6).

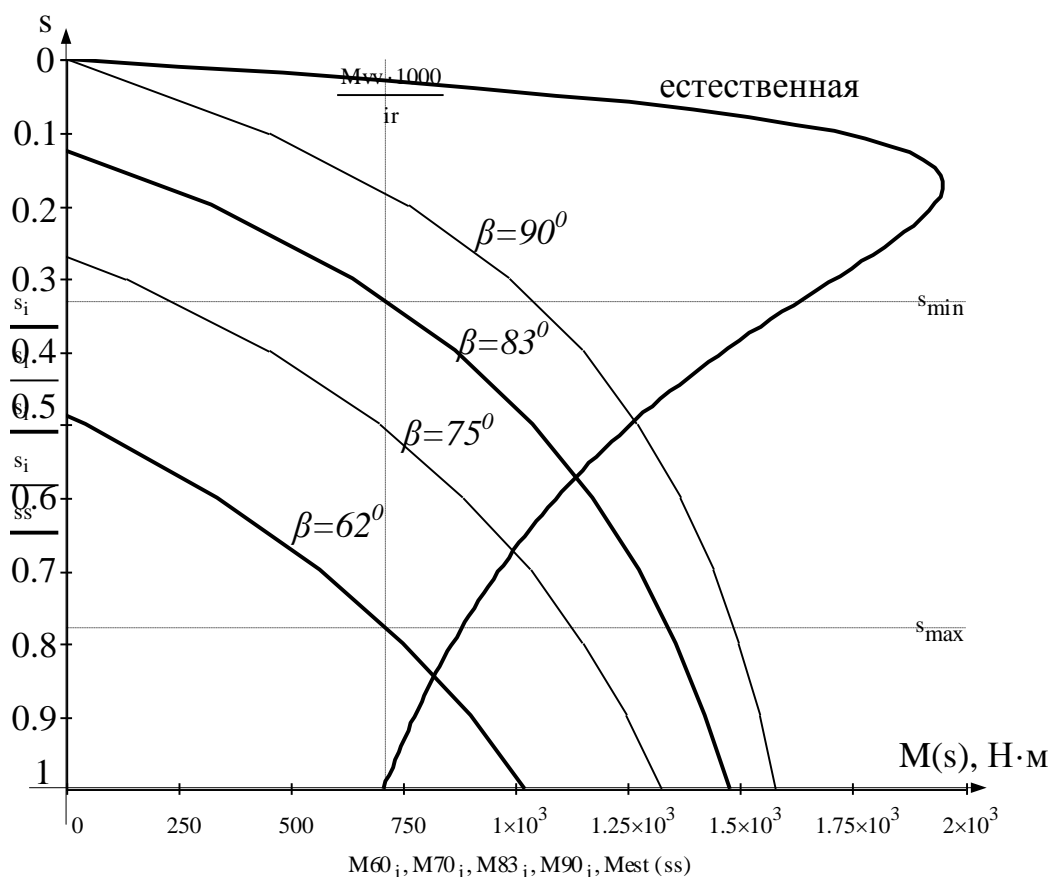


Рисунок 6 – искусственные механические характеристики  
Искусственные электромеханические характеристики системы рассчитаем из схемы замещения роторной цепи асинхронного вентильного каскада.



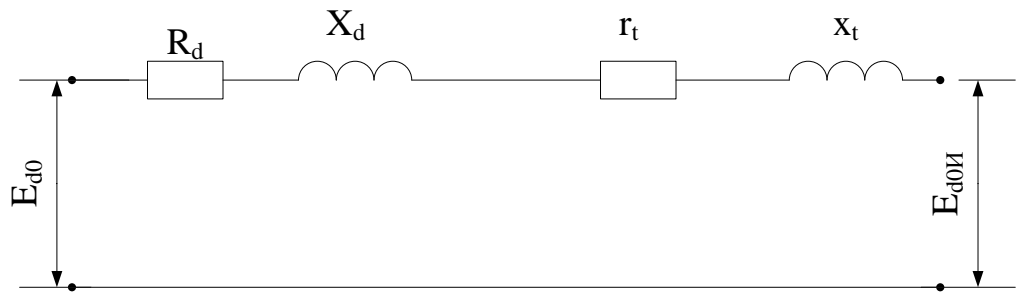


Рисунок 7 – схема замещения роторной цепи асинхронного вентильного каскада.

На данной схеме:

Номинальное выпрямленное напряжение ротора:

$$E_{d0} = 2.34 \cdot U_{2H} = 2.34 \cdot 250 = 585 \text{ В}$$

Номинальное выпрямленное напряжение инвертора:

$$E_{d0И} = 2.34 \cdot U_{2t} = 2.34 \cdot 42 = 98.3 \text{ В}$$

Эквивалентное индуктивное сопротивление двигателя, приведенное к ротору:

$$X_d = X_1 \cdot k_e^2 + \frac{X_2^{\lambda}}{k_e^2} = 0.092 \cdot 1.44^2 + \frac{0.118}{1.44^2} = 0.248 \text{ Ом}$$

Эквивалентное активное сопротивление двигателя, приведенное к ротору:

$$R_d = R_1 \cdot k_e^2 + \frac{R_2^{\lambda}}{k_e^2} = 0.026 \cdot 1.44^2 + \frac{0.037}{1.44^2} = 0.072 \text{ Ом}$$

Тогда искусственные электрохимические характеристики будут описываться уравнениями:

$$I_2(s) = \frac{E_{d0} \cdot s - E_{d0И} \cdot \cos(\beta)}{2 \cdot R_d + \frac{3 \cdot X_d \cdot s}{\pi} + \frac{3 \cdot x_t}{\pi} + 2 \cdot r_t} = \frac{585 \cdot s - 98.3 \cdot \cos(\beta)}{2 \cdot 0.072 + \frac{3 \cdot 0.248 \cdot s}{\pi} + \frac{3 \cdot 8.7 \cdot 10^{-3}}{\pi} + 2 \cdot 5.1 \cdot 10^{-3}}$$

$$I_1(s) = \sqrt{I_{0H}^2 + (I_2(s))^2 \cdot (1 + 2 \cdot \alpha)} = \sqrt{125^2 + (I_2(s))^2 \cdot (1 + 2 \cdot 0.12)}$$

По данным выражениям произведён расчет искусственных электрохимических характеристик, который сведён в таблицу 8.

Таблица 8. Расчёт искусственных электромеханических характеристик

s	$\beta=90^0$		$\beta=83^0$		$\beta=75^0$		$\beta=62^0$	
	$I_2(s)$	$I_1(s)$	$I_2(s)$	$I_1(s)$	$I_2(s)$	$I_1(s)$	$I_2(s)$	$I_1(s)$
	A							
0	0	125	-71	146	-153	210.5	-280.3	337.4
0.1	315.7	373	251	306.2	178.4	234.7	66.7	145.4
0.2	559.8	635.7	502.5	573.3	438.1	503.6	339	197.7
0.3	754.2	849	702.7	793.4	644.9	728.9	555.9	631.5
0.4	912.7	1024	866	972.3	813.5	914.4	732.7	825.4
0.5	1044	1170	1002	1122	953.5	1069	879.6	987.4
0.6	1155	1293	1116	1249	1072	1200	1004	1125
0.7	1251	1398	1214	1358	1173	1312	1110	1242
0.8	1333	1489	1299	1452	1260	1409	1201	1344
0.9	1405	1569	1373	1534	1337	1494	1282	1432
1	1468	1639	1438	1606	1404	1568	1352	1511

По данным таблицы 8 построены искусственные электромеханические характеристики, (рисунок 8 и 9).

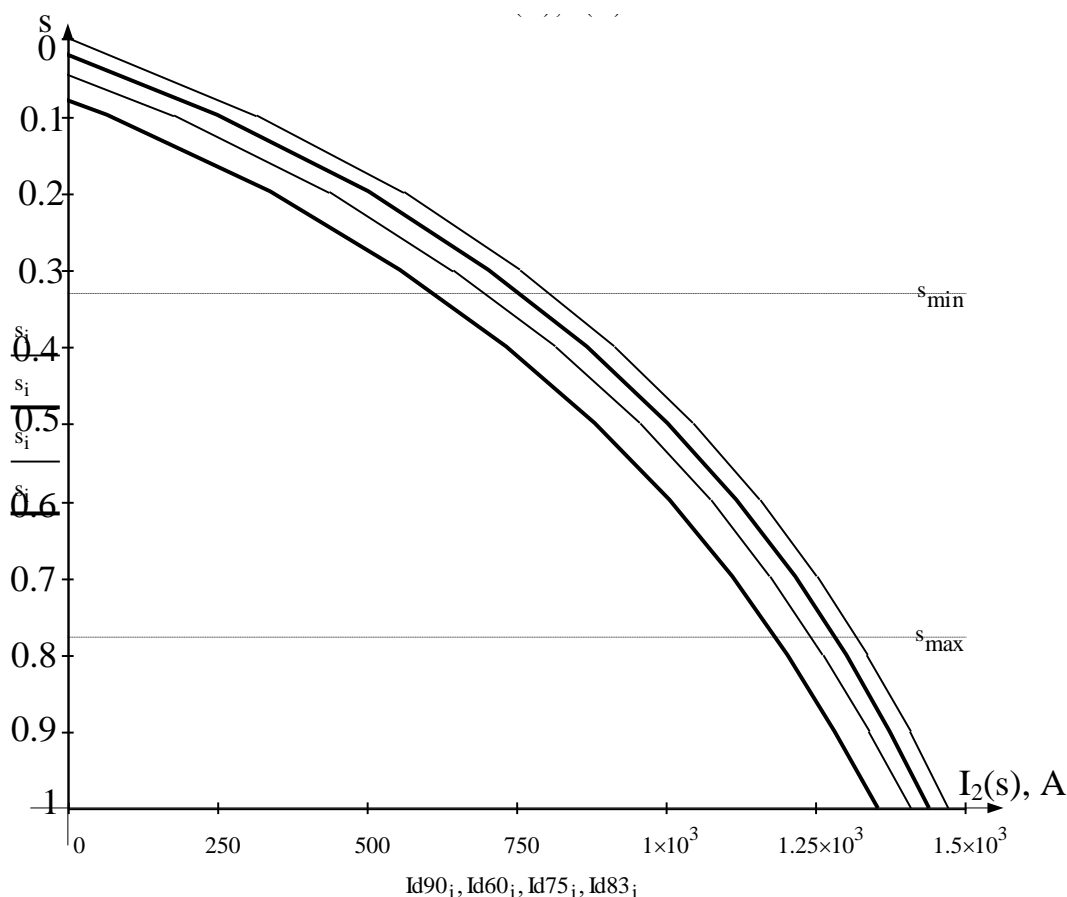


Рисунок 8 – искусственная электромеханическая характеристика  $I_2(s)$

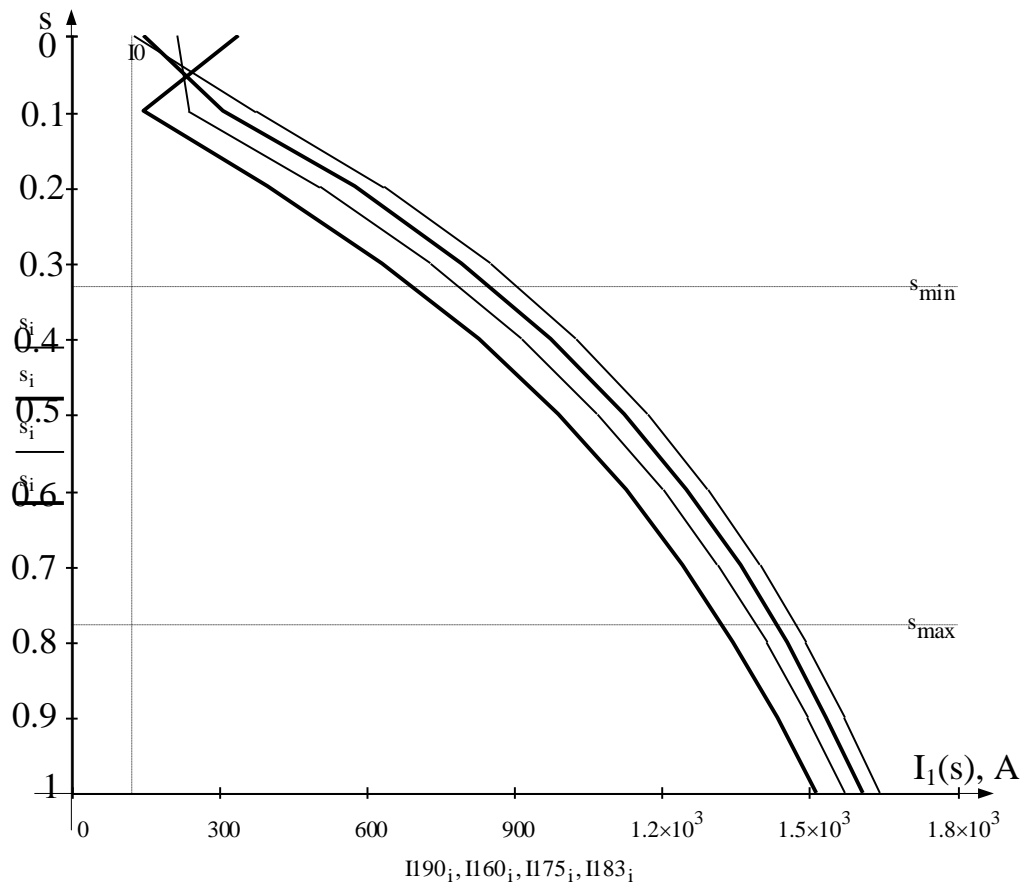


Рисунок 9 – искусственная электромеханическая характеристика  $I_1(s)$

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

Для построения переходных характеристик необходимо рассчитать добавочное пусковое сопротивление ротора, а также ток статора в режиме динамического торможения.

Определяем величину добавочного сопротивления для работы на первой ступени регулирования.

$$M_{cm1} = M_{кр} \cdot \frac{2 + q}{\frac{S_{cm1}}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S_{cm1}} + q},$$

$$q = \frac{R_1}{R_2} \cdot 2 \cdot S_{кр} = \frac{0.026}{0.037} \cdot 2 \cdot 0.18 = 0.255$$

$$S_{cm1}^2 + S_{кр}^2 + q \cdot S_{cm1} \cdot S_{кр} = \frac{M_{кр} \cdot (2 + q) \cdot S_{cm1} \cdot S_{кр}}{M_{cm1}}$$

Так как значение  $s_{cm1} = 0.332$  получаем:

$$S_{кр}^2 + S_{кр} \cdot (0.332 \cdot 0.255 - \frac{1814 \cdot (2.255) \cdot 0.332}{712.4}) + 0.332^2 = 0$$

В результате решения квадратного уравнения получаем два корня

$$S_{кр1} = 1.76$$

$$S_{кр2} = 0.06$$

Принимаем  $S_{кр2} = 1.76$

Определяем добавочное сопротивление для 1 ступени

$$S_{кр2} = \frac{R_2 + R_{2,cm1доб}}{\sqrt{R_1^2 + x_k^2}},$$

$$R_{2,cm1доб} = S_{кр2} \cdot \sqrt{R_1^2 + x_k^2} - R_2 = 1.76 \cdot \sqrt{0.026^2 + (0.092 + 0.118)^2} - 0.037 = 0.335 \text{ Ом}$$

$$R_{2,cm1доб} = \frac{R_{2,cm1доб}}{k_e^2} = \frac{0.335}{1.44^2} = 0.161 \text{ Ом}$$

Тогда механическая пусковая характеристика будет описываться уравнением:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1f}^2 \cdot (R_2' + R_{2.cm1\dot{o}o\ddot{o}}) \cdot 9.55}{s \cdot n_0 \cdot \left[ \left( R_1 + \frac{R_2' + R_{2.cm1\dot{o}o\ddot{o}}}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (0.037 + 0.335) \cdot 9.55}{s \cdot 1500 \cdot \left[ \left( 0.026 + \frac{0.037 + 0.335}{s} \right)^2 + (0.092 + 0.118)^2 \right]}$$

Подставляя значения скольжения, получим соответствующие значения момента, развиваемого двигателем. Результаты расчета приведены в таблице 9.

Таблица 9. Расчет пусковой механической характеристики

$s$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	0	235.3	460.5	672.4	868.6	1047	1208	1350	1474	1580	1669

Точный расчет характеристики динамического торможения.

Универсальная кривая намагничивания для асинхронных двигателей с фазным ротором типа МТ задается следующим образом:

Таблица 10. Универсальная кривая намагничивания

$i_0 = \frac{I_0}{I_{1н}}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$e_1 = \frac{E_1}{E_{1н}}$	0,132	0,27	0,4	0,52	0,64	0,75	0,83	0,895	0,96	1
$i_0 = \frac{I_0}{I_{1н}}$	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
$e_1 = \frac{E_1}{E_{1н}}$	1,03	1,07	1,1	1,12	1,14	1,16	1,19	1,2	1,21	1,22

Определяем эквивалентный ток статора.

Постоянный ток при динамическом торможении  $I_{\pi} = 2 \cdot I_0 = 2 \cdot 125 = 250 \text{ А}$ , тогда эквивалентный ток  $I_{\sigma} = 0.816 \cdot I_{\pi} = 0.816 \cdot 250 = 204 \text{ А}$ .

Определяем величину сопротивления намагничивания для различных значений тока намагничивания. Против ЭДС в обмотке статора находим как

$$E_1 = E_2 = \frac{E_{2н}}{\sqrt{3}} \cdot k_e = \frac{250}{\sqrt{3}} \cdot 1.44 = 208.4 \text{ В}$$

$$\text{Тогда } x_m = \frac{E_1}{I_0} \cdot \frac{e_1}{i_0} = \frac{208.4}{125} \cdot \frac{e_1}{i_0}.$$

Полученные значения сведем в таблицу 11.

Таблица 11. Значения  $x_m$  для различных  $i_1$ .

$i_0$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$x_m$	2.2	2.25	2.22	2.17	2.13	2.08	1.98	1.87	1.78	1.67
$i_0$	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
$x_m$	1.56	1.49	1.41	1.33	1.27	1.21	1.14	1.11	1.06	1.02

Величина  $R_{2.\text{доб.}\text{дм}}$  определяется из выражения

$$R_H = \frac{E_{2H}}{\sqrt{3}I_{2H}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 260} = 0.56 \text{ Ом}$$

$$R_{2.\text{доб.}\text{дм}} = 0.5R_H = 0.5 \cdot 0.56 = 0.28 \text{ Ом}$$

$$R'_{2.\text{доб.}\text{дм}} = R_{2.\text{доб.}\text{дм}} \cdot k_e^2 = 0.28 \cdot 1.44^2 = 0.56 \text{ Ом}$$

Определяем значение скольжения  $S$ , соответствующие значению тока намагничивания по выражению:

$$S = R'_{2.\text{доб.}\text{дм}} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{I_3}{i_0 \cdot I_0}\right)^2 - 1}{(X_2' + x_m)^2 - \left(\frac{I_1}{i_0 \cdot I_0}\right)^2 \cdot X_2'}} = 0.56 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{204}{i_0 \cdot 125}\right)^2 - 1}{(0.118 + x_m)^2 - \left(\frac{204}{i_0 \cdot 125}\right)^2 \cdot 0.118}}$$

Значения  $S$ , полученные при отрицательном значении подкоренного выражения, отбрасываются и в дальнейших расчетах не участвуют.

Найденные значения заносим в таблицу 12.

Таблица 12. Значения скольжения, для различных  $i_0 I_0$ .

$I_0 I_0, A$	25	37.5	50	62.5	75	87.5	100	112.5	125
$S$	1.08	0.64	0.46	0.36	0.29	0.24	0.2	0.17	0.15
$i_0 I_0, A$	137.5	150	162.4	175	187.4	200			
$S$	0.12	0.1	0.08	0.07	0.05	0.02			

Определяем приведенный ток ротора соответствующий найденным значениям

$$\text{скольжения: } I_2' = \frac{I_{13} \cdot x_m}{\sqrt{\left(\frac{R'_{2.\text{доб.}\text{дм}}}{S}\right)^2 + (X_2' + x_m)^2}} = \frac{204 \cdot x_m}{\sqrt{\left(\frac{0.56}{S}\right)^2 + (0.118 + x_m)^2}}$$

Полученные значения заносим в таблицу 13.

Таблица 13. Значения тока  $I_2$ , для различных  $S$ .

$S$	1.08	0.64	0.46	0.36	0.29	0.24	0.2	0.17	0.15
$I_2, A$	189	180.7	169.4	156.6	142.4	125.6	108.6	93.2	77.7
$S$	0.12	0.1	0.08	0.07	0.05	0.02			
$I_2, A$	63.7	52.1	41.3	31.1	21.3	9.6			

Рассчитываем механическую характеристику двигателя в режиме динамического торможения для соответствующих значений  $S$ :

$$M = \frac{3 \cdot (I_2)^2 \cdot R_{2, \text{доб. об.}}}{n_0 \cdot S} \cdot 9.55 = \frac{3 \cdot (I_2)^2 \cdot 0.56}{1500 \cdot S} \cdot 9.55$$

Полученные значения заносим в таблицу 14.

Таблица 14. Значения момента  $M$  для значений  $S$

$S$	1.08	0.64	0.46	0.36	0.29	0.24	0.2	0.17	0.15
$M, Нм$	367.3	563.7	691	763.1	780.7	733.2	650.7	563.8	461
$S$	0.12	0.1	0.08	0.07	0.05	0.02			
$M, Нм$	365.2	289.9	221.3	159.4	104.5	45			

Ориентировочно момент инерции механизма можно определить как:

$$J_M = G \cdot D^2 = 9.81 \cdot 17.3 \cdot 10^3 \cdot 0.8^2 = 108.7 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Суммарный момент инерции привода:

$$J_\Sigma = 1.12 \cdot J_{\text{дв}} + \frac{J_M}{i_r^2} = 1.12 \cdot 2.5 + \frac{108.7 \cdot 10^3}{70^2} = 22.5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Время переходного процесса:

$$\Delta t = J_\Sigma \cdot \frac{\Delta n}{9.55 \cdot M_{\text{дин. ср}}}$$

Таблица 15. Пуск

$s$	0.33	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$M, Н \cdot м$	712.4	868.6	1047	1208	1350	1474	1580	1669
$n, \text{об/мин}$	1005	900	750	600	450	300	150	0
$\Delta t, \text{с}$	3,17	1,44	0,85	0,62	0,51	0,43	0,39	0,00
$t_\Sigma, \text{с}$	7,41	4,24	2,80	1,95	1,33	0,82	0,39	0,00

Таблица 16. Резкое изменение угла управления с  $\beta=83^\circ$  на  $\beta=62^\circ$

$s$	0.33	0.4	0.5	0.6	0.7	0.78
$M, Н \cdot м$	-647.6	-330	43.5	334	563.6	712.4
$n, \text{об/мин}$	1005	900	750	600	450	330
$\Delta t, \text{с}$	0	0,21	0,41	0,67	1,34	3,80
$t_\Sigma, \text{с}$	0	0,21	0,62	1,29	2,63	6,43

Таблица 17. Динамическое торможение

$s$	0,78	0,9	1
$M$ , Н·м	-500	-446	0
$n$ , об/мин	330	150	0
$\Delta t$ , с	0	0,36	0,38
$t_{\Sigma}$ , с	0	0,36	0,74

По данным таблиц 15 – 17 строим графики переходных процессов, (рисунок 10).

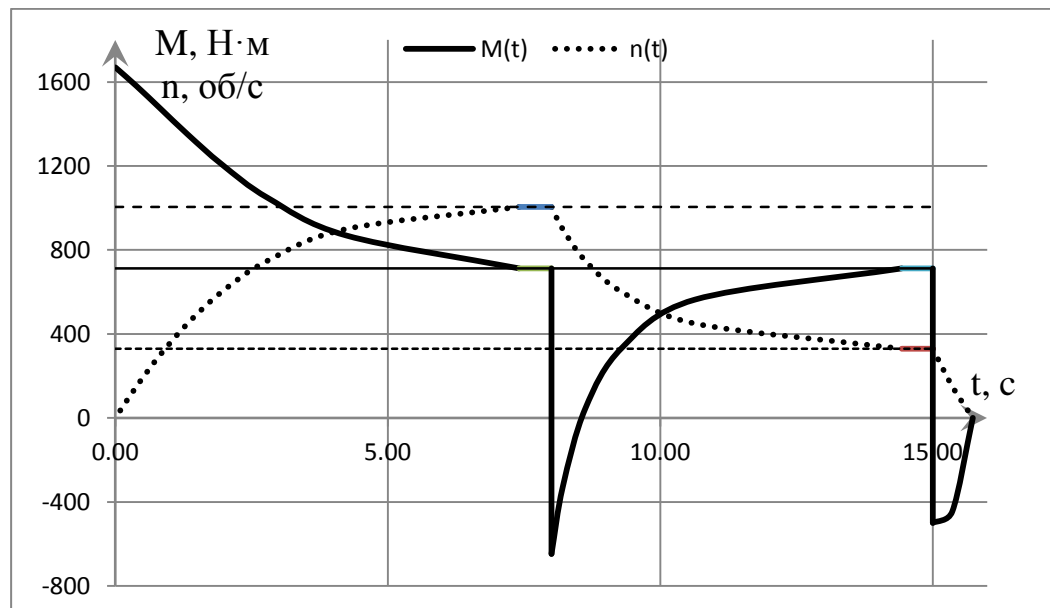


Рисунок 10 – Механические переходные характеристики.

В данном разделе были рассчитаны добавочное пусковое сопротивление ротора и ток статора в режиме динамического торможения для получения переходных процессов.



### 3. Расчет параметров структурной схемы

#### 3.1. Составление структурной схемы системы регулируемого электропривода

Линеаризованная структурная схема в системе АВК представлена на рисунке 11.

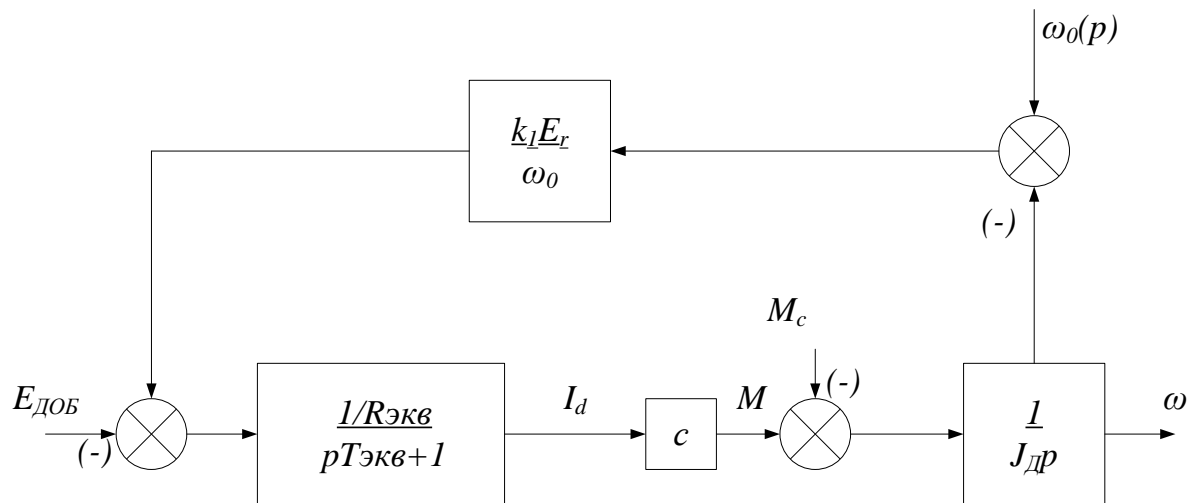


Рисунок 11 – Линеаризованная структурная схема в системе асинхронно-вентильного каскада

#### 3.2. Расчет коэффициентов усиления и постоянных времени регулируемого электропривода.

В структурной схеме обозначены:

$E_{доб}$  – добавочная ЭДС инвертора;

$R_{экв}$  – эквивалентное сопротивление роторной цепи, определяется как:

$$R_{экв}(s) = 2 \cdot R_d + \frac{3 \cdot X_d \cdot s}{\pi} + \frac{3 \cdot x_t}{\pi} + 2 \cdot r_t = 2 \cdot 0.072 + \frac{3 \cdot 0.248 \cdot s}{\pi} + \frac{3 \cdot 8.7 \cdot 10^{-3}}{\pi} + 2 \cdot 5.1 \cdot 10^{-3}$$

$T_{экв}$  – эквивалентная постоянная времени роторной цепи, определяется как:

$$T_{экв}(s) = \frac{X_d \cdot s}{314.15 \cdot R_d} = \frac{0.248 \cdot s}{314.15 \cdot 0.072}$$

$$c(s) = \frac{k_{сх}}{n_0} \cdot 9.55 \cdot (E_r - \sqrt{2} \cdot I_{d0} \cdot X_m) \cdot I_d(s) = \frac{2.34}{n_0} \cdot 9.55 \cdot (122.8 - \sqrt{2} \cdot 297.6 \cdot 5.065) \cdot I_d(s)$$

## 4. Разработка функциональной схемы системы регулируемого электропривода

### 4.1. Составление силовой схемы регулируемого электропривода

Силовая схема привода представлена на рисунке 12.

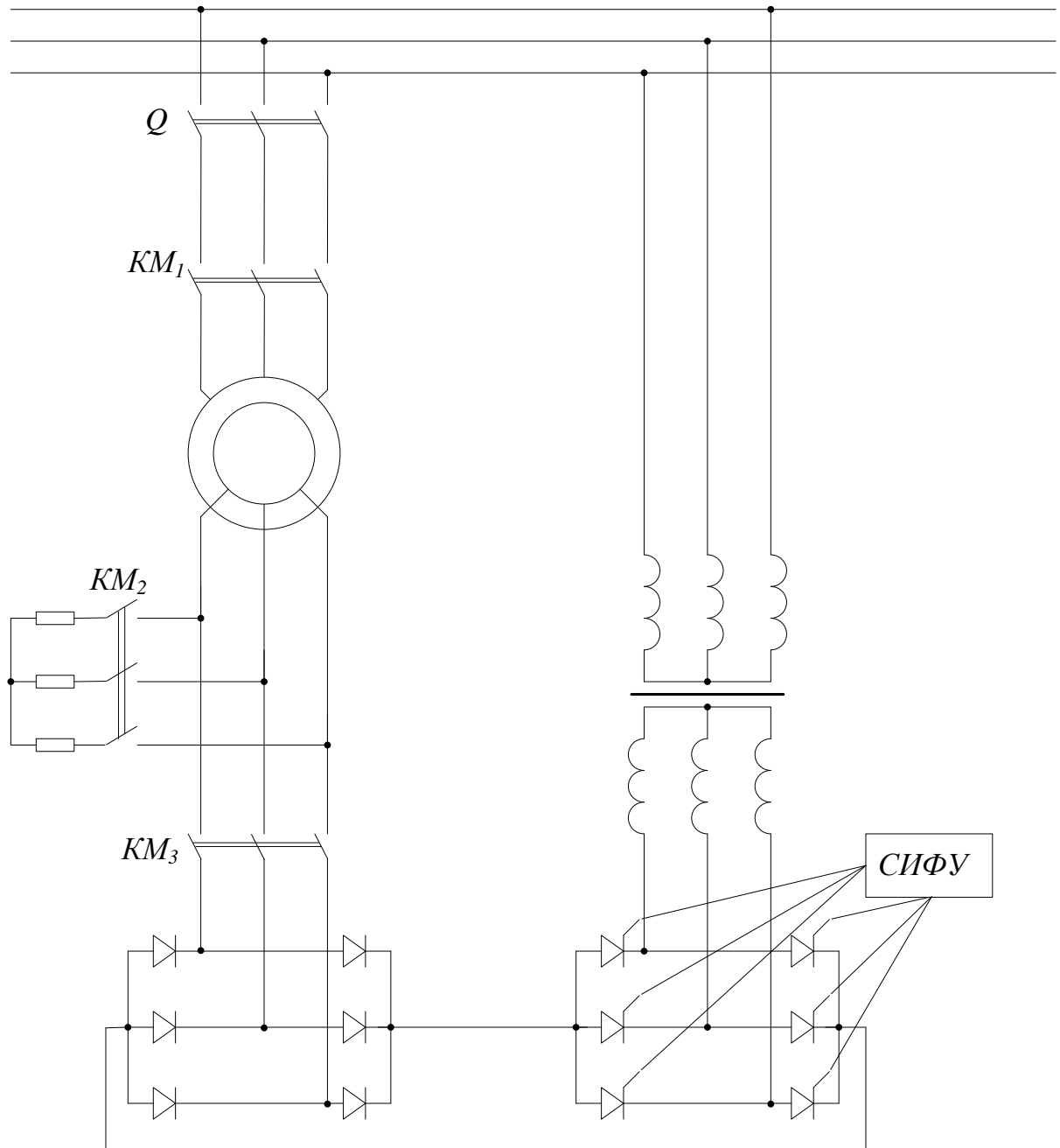


Рисунок 12 – Силовая схема регулируемого электропривода

## 4.2. Составление схемы управления регулируемого электропривода

Схема управления электроприводом выполнена с помощью программы LOGO!SoftComfort, (рисунок 13).

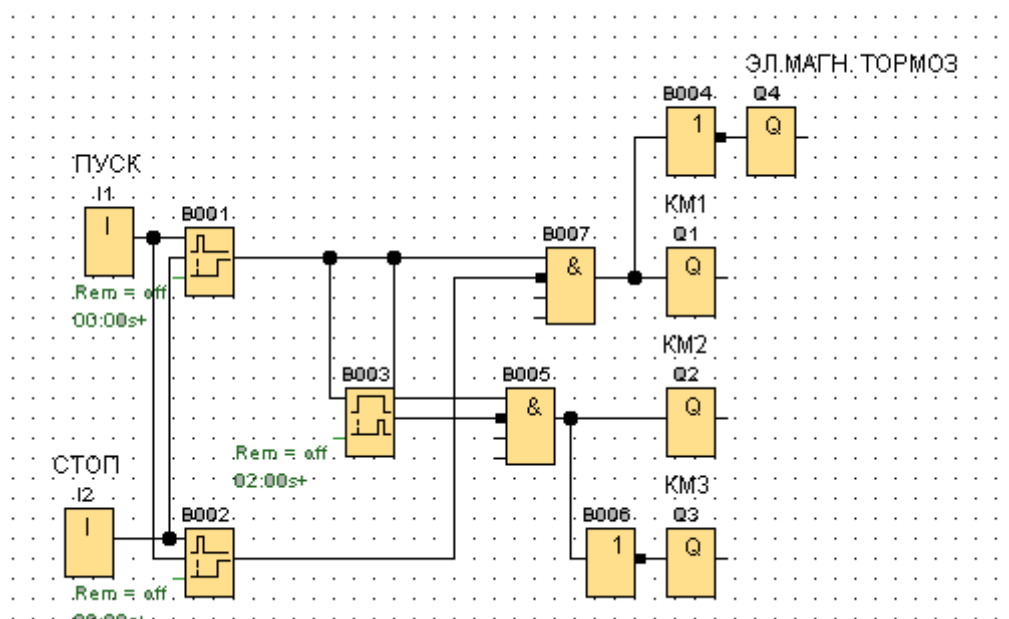


Рисунок 13 – Схема управления электроприводом

Данная схема позволяет настроить пусковую и стоповую кнопку на звонковый режим или на режим переключателя. В данном случае обе кнопки звонковые, поэтому необходимо ставить реле V001 и V002. При нажатии пусковой кнопки на выходе Q1 будет логическая единица, которую необходимо подавать на катушку пускателя KM1. Выход Q2, подключающий пусковые реостаты, отключится через время пуска, которое необходимо настраивать с помощью реле V003. После отключения Q2 включится Q3, подключив добавочную ЭДС в цепь ротора. При нажатии кнопки СТОП, отключится Q1 и включится Q4, накладывая электромагнитный тормоз. При этом Q3 не отключится, и энергия скольжения будет отдаваться в сеть.

### 4.3. Составление схемы в программе *MATLAB simulink*

С целью подтверждения правильности проведенных расчетов была разработана имитационная модель электропривода в программной среде MatLab (рис.14). Она содержит блоки – асинхронный двигатель, источник питания, выпрямители, осциллограф, блок Step time.

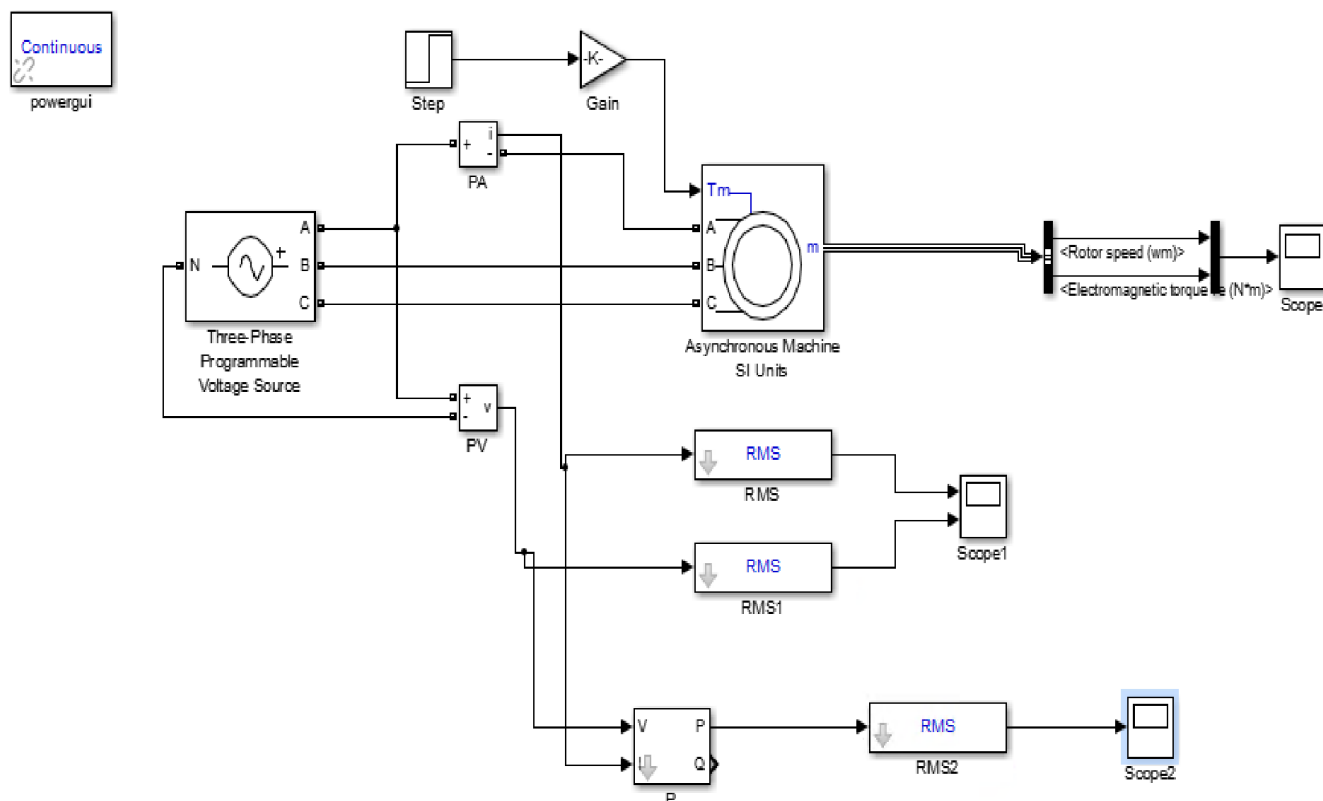
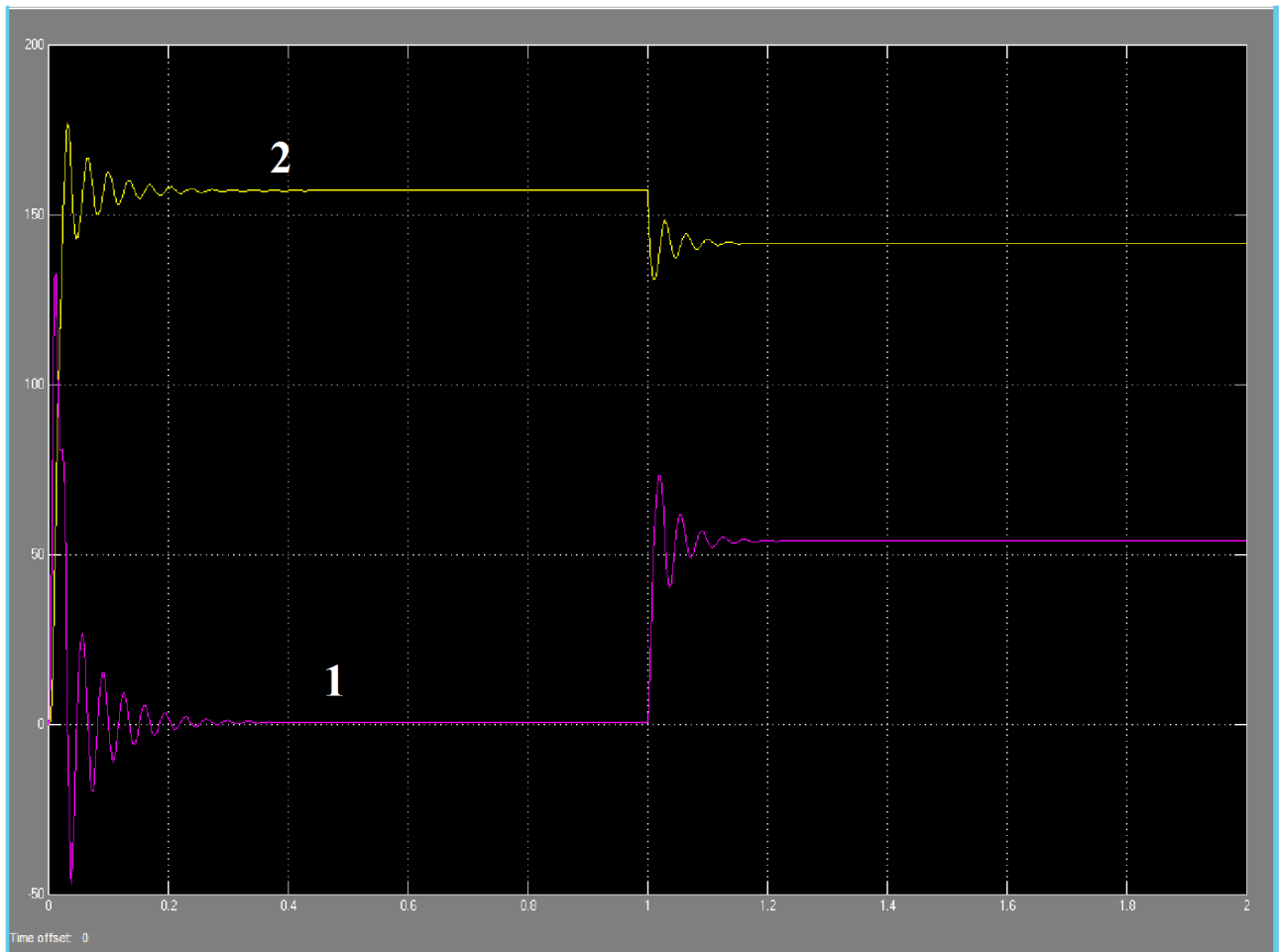


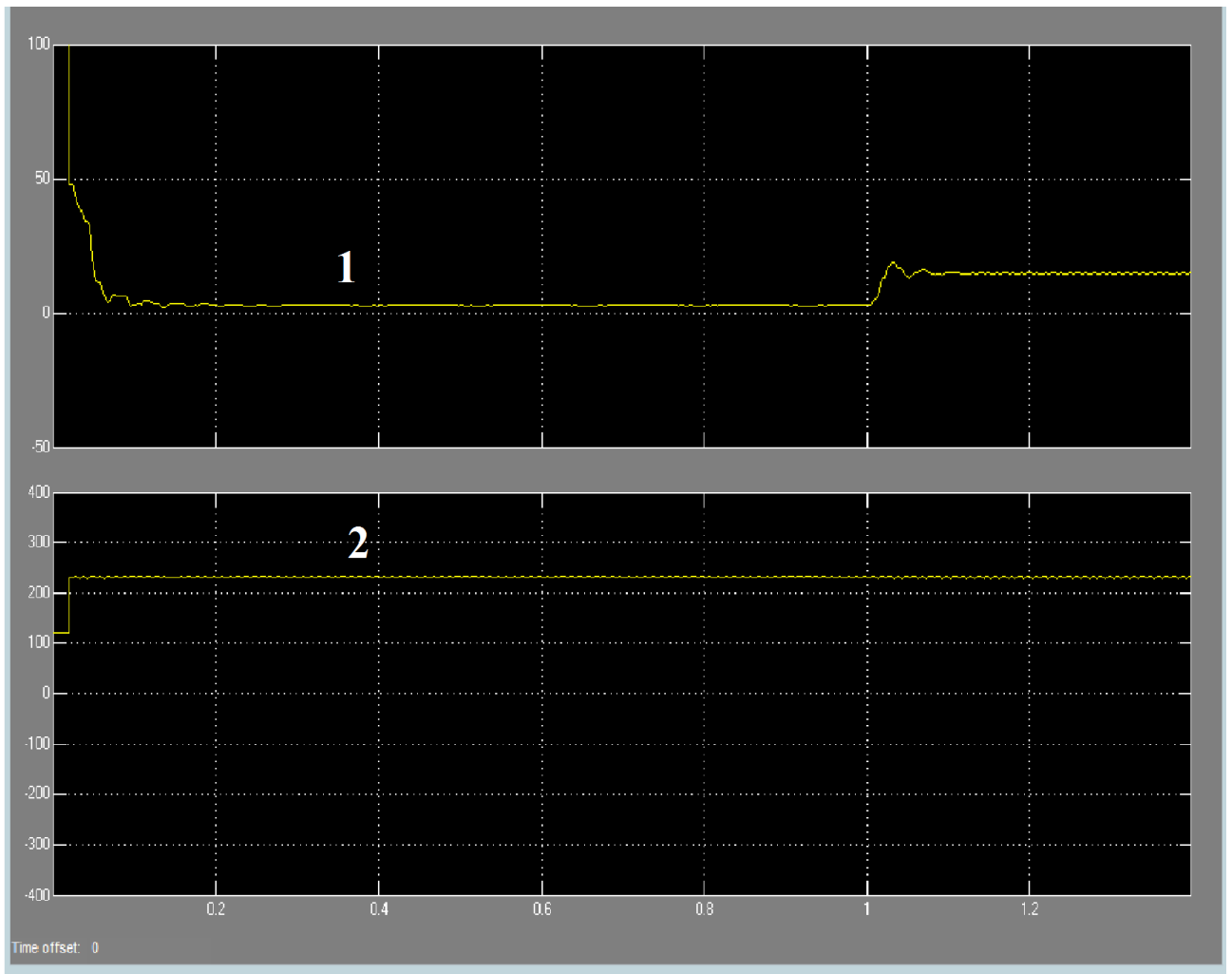
Рисунок 14- Схема собранная с помощью программы *MATLAB simulink* .

Данная схема собрана уже с выведенным реостатом из роторной цепи.

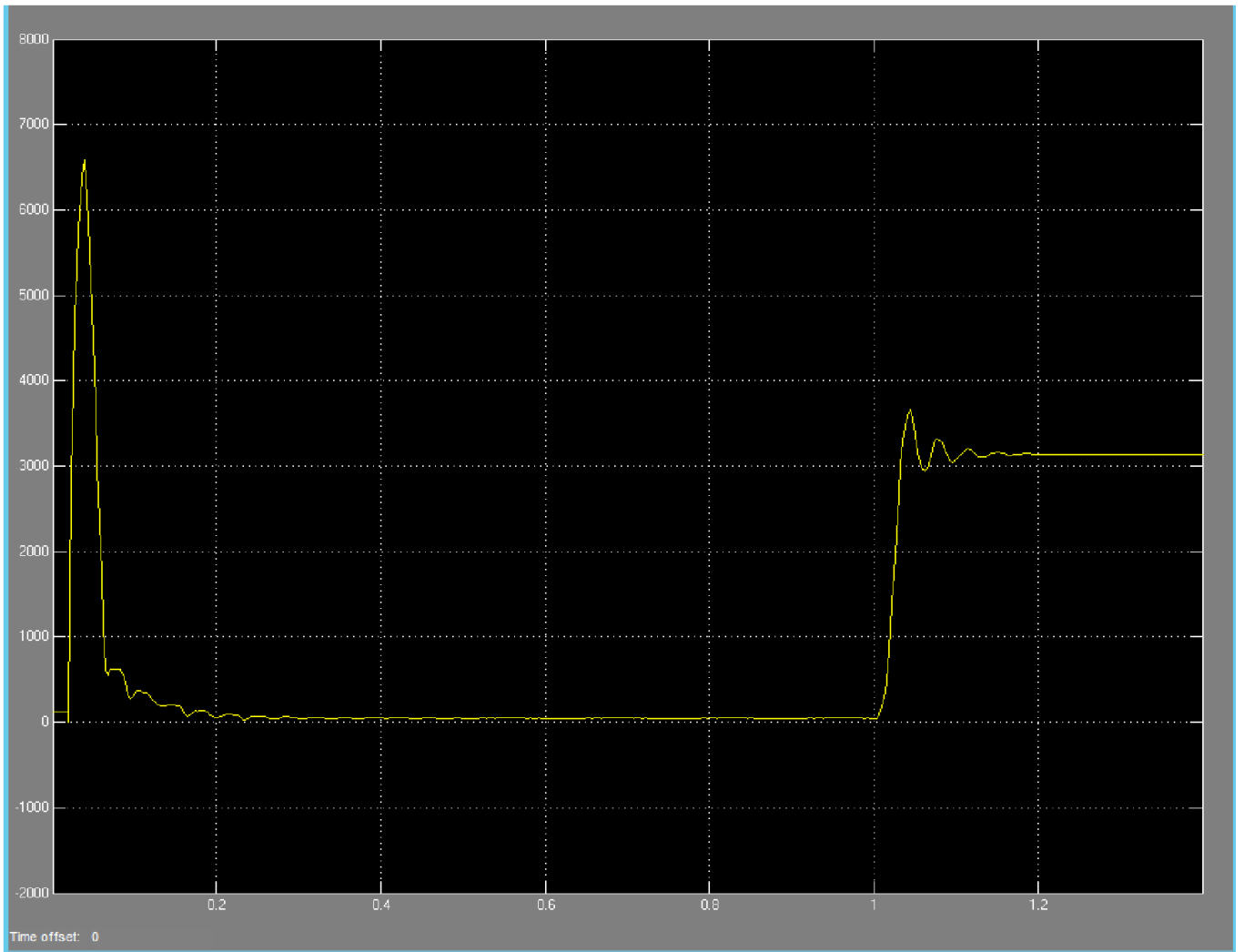
Были сняты зависимости момента, напряжения, тока, полезной мощности и чистота вращения ротора.



*Рисунок 15-График характеристик момента(1) и частоты вращения ротора(2) при набросе нагрузки*



*Рисунок -16 Графики характеристик тока(1) и напряжения(2)*



*Рисунок 17- График характеристики полезной мощности*

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

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г2Б1	Кучимов Рустам Панжиевич

<b>Институт</b>	Институт электронного обучения (ИЭО)	<b>Кафедра</b>	
<b>Уровень образования</b>	Специалитет	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика Электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, информационных и человеческих, финансовых,</i>	- Заказчиком проекта является АО «АлмалыкскийГМК» - Приблизительная сумма затрат на выполнение проекта составляет 520 тыс. рублей, - В реализации проекта задействованы 3 человек: руководитель проекта, инженер-наладчик,электромонтер;
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- Отчисления во внебюджетные фонды - 30% от ФОТ

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование, - Потенциальные потребители результатов НТП, - Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
2. <i>Планирование и формирование бюджета проектной работы</i>	- Планирование научно-исследовательских работ, - Планирование пусконаладочных работ, - Состав бригады для проведения ПНР, - Расчет бюджета проекта по внедрению частотного электропривода, - Смета затрат на ПНР, - Расчет расходов при эксплуатации электропривода (стоимости силовой электроэнергии), - Расчет амортизационных отчислений, - Заработная плата обслуживающего персонала, - Общая сумма эксплуатационных расходов
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования, - Интегральный финансовый показатель, - Интегральный показатель ресурсоэффективности, - Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки,

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

1. <i>График Ганта,</i> 2. <i>Смета затрат</i>
---

<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 кафедры менеджмента	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., ДОЦЕНТ		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Г2Б1	Кучимов Р.П.		



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

### **4.1. Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование**

Инициирование проекта и его технико-экономическое обоснование

Самым важным фактором успешной работы любого промышленного предприятия, при жесткой конкуренции со стороны отечественных и зарубежных производителей, является постоянное совершенствование технологий и продуктов. Новые технологии и модернизация - это является существенным фактором для успешного продвижения продукта. Современный рынок требует от отечественных производителей коренной реконструкции и модернизации устаревшего производственного оборудования. Совершенствование производственных технологий с целью повышения качества продукции, экономии затраченных средств, внедрение новых идей и, таким образом, появление новых продуктов с новыми свойствами - все это в условиях свободной конкуренции на рынке требуют производителям разработать и внедрить новое технологическое оборудование.

В представленном в данной части работы проекте исследуется винтельно-каскадный регулируемый асинхронный электропривод, в том числе производится выбор наиболее выгодного варианта электропривода для рассматриваемого объекта автоматизации. Применение асинхронных электродвигателей с частотным приводом позволяет модернизировать производство, повысить надежность, срок службы оборудования, снизить энергопотребление. Асинхронные электродвигатели всегда в наличии, что позволит в случае необходимости провести оперативную замену.

Преимуществами такого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока являются:

- **более низкая стоимость;**
- минимальные затраты на обслуживание;

– обеспечение требуемой степени защиты.

При этом асинхронные электродвигатели более надежны, чем электродвигатели постоянного тока за счет отсутствия щеточного (механизма) аппарата.

Стоимость асинхронного электродвигателя в 5 раз меньше двигателя постоянного тока. Асинхронные электродвигатели просты в обслуживании, всегда есть в наличии на случай аварийной замены.

#### 4.2 Потенциальные потребители результатов НИП

Целевой рынок - рыночные сегменты, которые будут продаваться в будущем развитии. В свою очередь, сегмент рынка - специально выделенная часть рынка, группы потребителей, с некоторыми общими чертами. В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица) использовать соответствующие критерии сегментации. В нашем случае, для коммерческих организаций критерии сегментации могут быть: место нахождения; промышленность; промышленные товары; размер и другие. Сегментирование рынка транспортного оборудования по следующим критериям: размер клиента, тип привода

Рисунок 1- Карта сегментирования рынка транспортного оборудования по используемым видам электроприводов:

		вид электропривода		
		Электропривод переменного тока	Электропривод АД с фазным ротором	Электропривод с АВК регулированием
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

	Фирма А		Фирма Б		Фирма В
--	---------	--	---------	--	---------

В этом примере сегментации карта показывает, какие ниши на рынке транспортного оборудования, не занятые конкурентами или где уровень конкуренции минимума.

В результате сегментации:

-основные сегменты этого рынка включают в себя использование электропривода с частотным регулированием средних и малых предприятий;

-наиболее перспективным сегментом предложения является привод с частотным регулированием средних предприятий;

-сегмент рынка, которые являются привлекательными для компаний в будущем, является обеспечение частотно-регулируемого электропривода с небольшими динамическими, компаниями.

#### 4.3 Анализ конкурентных технических решений

В настоящее время на современном рынке имеется множество вариантов различных составных частей электропривода, как зарубежного производства так и Российского. Рассмотрим допустимые варианты для нашего электропривода и проведем сравнительный анализ по основным характеристикам.

Таблица 1-Сравнительный анализ комплектующих электропривода

Характеристика	Электродвигатель			Преобразовательное устройство			Редуктор		
	№1	№2	№3	№1	№2	№3	№1	№2	№3
Стоимость	96720	99252	131493	282400	215200	170420	90000	81300	74000
Надёжность	Над.	Над.	Над.	Над.	Над.	Над.	Над.	Ненад.	Над.
Питание	380 В	380В	380В	380	660	380	-	-	-
Доступность з/частей	Дост.	Трудно Доступ.	Дост.	Трудно Доступ.	Дост.	Дост.	Дост.	Дост.	Дост.
Простота обслуживания	Прост	Прост	Прост	Прост	Сложное Обслуж.	Прост.	Прост	Прост	Прост

- Были рассмотрены:

- Электродвигатель №1- 4АНК 250 М4 УЗ(110кВт)
- Электродвигатель №2- 4АНК 250 М4 ТЗ(110кВт)
- Электродвигатель №3- 4АНК 250 М4(110 кВт)
- Комплектное устройство №1- ККПУФ-300/250-00-ДХ-XXX (110кВт)
- Комплектное устройство №3-ККПУФ-250/300-00-ДХ-XXX (110кВт)
- Комплектное устройство №3- ККПУФ-350/250-00-ДХ-XXX(110 кВт)
- Редуктор №1- SK12407( $i_p=70$ )
- Редуктор №2-SK1407( $i_p=70$ )
- Редуктор №3-SK11407 ( $i_p=70$ )
- Из рассмотренных вариантов выбираем наиболее выгодные для нас по простоте обслуживания, цене, доступности запасных частей:
- 1) Электродвигатель -4АНК 250 М4 УЗ (110кВт)
- 2) АВК - ККПУФ-300/250-00-ДХ-XXX (110кВт)
- 3) Редуктор - SK11407( $i_p=70$ )

Анализ конкурентных изменений на рынке, должны проводиться на регулярной основе, поскольку рынки находятся в постоянном движении. Такой анализ помогает внести коррективы, с тем, чтобы успешно противостоять их противников. Важно, чтобы реально оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения ит.д.

Анализ конкурентных технических решений с точки зрения эффективности использования ресурсов и ресурсов позволяет провести оценку сравнительной эффективности научных разработок и определить

области для ее будущего направления целесообразно проводить этот анализ с использованием системы показателей, пример которой приведен в табл. 2. Для этого необходимо выбрать, по крайней мере, три или четыре разработки и конкурентоспособную продукцию. В качестве конкурентных товаров были рассмотрены электроприводы (Бф - АВ250S6, БК1 - АИР250Р3, БК2 - АИР250Р4)

*Таблица-2 Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений*

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто-		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности пользователей	0,15	5	3	4	0,75	0,45	0,6
2. Удобство использования (соответствует требованиям потребителей)	0,07	4	5	2	0,28	0,35	0,14
3. Энергоэффективность	0,11	5	3	3	0,55	0,33	0,33
4. Надежность	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
5. Уровень шума	0,03	3	4	4	0,09	0,12	0,12
6. Безопасность	0,08	4	2	3	0,32	0,16	0,24
<b>Оценка эффективности и экономические критерии</b>							
1. Конкурентоспособной продукции	0,04	3	2	3	0,12	0,08	0,12
2. Цена	0,15	4	5	3	0,6	0,75	0,45
3. Срок эксплуатации, предполагаемый	0,12	5	3	4	0,6	0,36	0,48

4. Послепродажное обслуживание	0,05	5	3	1	0,25	0,15	0,05
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>4,36</b>	<b>3,55</b>	<b>3,33</b>

Критерии для сравнения и оценки эффективности использования ресурсов и ресурсов, перечисленных в таблице. 2, выбирается на основе сравнения отдельных объектов на основе их технико-экономических характеристик разработки, внедрения и сопровождения. Положение конкурентов и развитие оценивается по каждому показателю экспертами по пятибалльной шкале, где 1 - наиболее слабой позиции, 5 - самый мощный. Веса показателей, определенных экспертом, в сумме должны быть 1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i$$

где K - конкурентоспособность научных разработок или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Итогом данного анализа является определение конкурентных преимуществ, которые отличающихся высоким уровнем качества при стандартном наборе определяющих его параметров. Из данного анализа видно, что наиболее перспективен электропривод АВ250S6(45кВт).

#### 4.4. Планирование научно–исследовательских работ

Сложность характеризуется количеством человеческого труда, затраченного на производство какого-либо продукта. Все этапы работы и величина затрат труда, перечислены в графике, таблице 8.

Таблица 3. Этапы и содержание НИР

*Таблица 3– Типовое содержание проектных работ*

Содержание работ	Трудоемкость работ, час	Исполнители *)
1. Разработка ТЗ на проектирование	5	И, Э.
2. Разработка плана работ и	5	И, Э.

технико-экономическое обоснование проекта		
3. Описание объекта автоматизации (модернизации)	13	Э, П.
4. Кинематическая схема механизма	14	Э, П.
5. Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	18	И, П.
6. Расчет мощности и выбор электродвигателя	8	Э, П.
7. Выбор способа регулирования скорости	13	И, Э.
8. Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	12	И, Э.
9. Разработка математической модели системы АУ ЭП	23	Э, П.
10. Оптимизация САР электропривода	12	И, П.
11. Разработка программы имитационного моделирования	17	Э, П.
12. Вопросы безопасности и экологичности проекта	13	И, Э.
13. Технико-экономические расчеты	13	И, Э.
14. Составление пояснительной записки	36	И, Э.
15. Разработка графического сопровождения проекта	15	И, П.
*) Исполнители: И - инженер I категории, Э - электромонтер 5 разряда, П - программист 4 разряда		





#### 4.5 Планирование пуско-наладочных работ

Для того, чтобы быстро и эффективно произвести регулировку электрооборудования и электрических цепей, нам необходимо хорошее знание оборудования, проектирования схем и расчета электрических параметров. Таким образом, регулировка завершена штат опытных и квалифицированных специалистов. Цены на проведение пуско-наладочные определяется исходя из сложности массового производства, освоены промышленностью электрических устройств в соответствии с требованиями части 3 СНиП 3.05.06 85 "Организация, производство и прием работ" и технических спецификаций для производства и поставка электрических приборов.

При составлении сметы или расчет на выполнение работ, когда договор предусматривает промежуточных платежей следует руководствоваться структурой ПНР, приведен в таблице 4

*Таблица 4-Структура ПНР*

№	Состав работы	Стоимость ПНР (%) от общей сметной стоимости
1	Подготовительная работа	10
2	Наладочные работы проводится с целью проверки отдельного технологического оборудования	40
3	Наладочные работы во время индивидуального тестирования технологического оборудования	30
4	Комплексное тестирование	15
5	Создание отчетной документации и приемки	5

Ценами учтены затраты на следующие работы:

1. Подготовительные работы - организационная и инженерная подготовка работ; исследование электрической части проекта и ознакомиться с технической документацией; получение от клиента согласованной защиты и автоматики устройств растений; Подготовка парка, а также ввод в эксплуатацию и протоколы установлены программы.

2. Визуальный осмотр электрооборудования на предмет соответствия проекта; проверки и настройки отдельных элементов и функциональных групп; тестовые сборки схемы; параметры испытания и удаление отдельных характеристик устройств; измерение сопротивления изоляции; путем соединения обмотки; Отрегулировать реле оборудования.

3. наладка электротехнического оборудования под напряжением, в том числе силовых цепей; удаление и получение необходимых характеристик, сравнить их с данными проекта, расчетными; тестирование и ввод в эксплуатацию оборудования и простоя под нагрузкой в сочетании с технологическим оборудованием.

4. Обеспечение взаимных связей в качестве составной части электрических приборов и механизмов, как части блока; согласование входных и выходных параметров и характеристик отдельных механизмов в составе блока;

Программное обеспечение на узлах электрических и электромеханических параметров и режимов, предусмотренных проектом. Изготовление одной копии протоколов ввода в эксплуатацию и тестирования;

Добавление к протоколу, которые были изменены в процессе.

*Таблица 5- Этапы и содержание ПНР*

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1. Подготовительный этап	1.1.	Ознакомление с проектом, выявления несоответствий. Составление расписания работы ПНР.	Руководитель представитель заказчика бригада

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
			наладчиков
	1.2.	Подготовка оборудования и инструментов;	Бригада наладчиков
	1.3.	Визуальный осмотр электрооборудования и проверка доступности;	Бригада наладчиков
	1.4.	Определение соответствия техническим условиям;	Бригада наладчиков
	1.5.	Подготовка рабочей программы испытаний и корректировки с учетом особенностей объекта.	Бригада наладчиков
2. Проверочные работы:	2.1.	Контроль качества электрической работы и их соответствие рабочим чертежам проекта	Бригада наладчиков
	2.2.	Проверка установленного оборудования, калибровка и удаление необходимых случаев характеристик	Бригада наладчиков
	2.3.	Проверка эффективности схем	Бригада наладчиков
	2.4.	Проверка работу электрических систем, блокировки и автоматизации.	Бригада наладчиков
3. Наладочные работы:	3.1.	Введ параметры двигателя в преобразователе частоты, при работе системы;	Бригада наладчиков
	3.2.	Проверка работу и функционирование сигнализации и защиты блоков	Бригада наладчиков
	3.3.	Ввод системных параметров преобразователя частоты	Бригада наладчиков
	3.4.	Проверка напряжения привода диапазон изменения, скорость настройки опорного устройства	Бригада наладчиков
	3.5.	Окончательные проверки безопасности	Бригада наладчиков
	3.6.	Установка и удаление требуемых характеристик элементов автоматического управления в соответствии с требованиями	Бригада наладчиков

		процесса, испытательное оборудование в режиме холостого хода	
4. Комплексное опробование	4.1.	Предоставление взаимных связей устройств в электроустановке;	Бригада наладчиков
	4.2.	Согласование входные и выходные параметры входных и выходных характеристик отдельных механизмов	Бригада наладчиков
	4.3.	Проверка параметров работы системы при работе с пультом дистанционного управления	Бригада наладчиков
5. Оформление документации	5.1.	Составление протоколов ПНР	Бригада наладчиков
	5.2.	Принятие линии. Добавление одного экземпляра концепции проекта и изменения, внесенные в ходе время ПНР	Руководитель, представитель заказчика, бригада наладчиков

#### **4.6 Состав бригады для проведения ПНР**

Число членов команды и распределение объемов между НДП членов команды зависит от подготовки наладчиков и их практического опыта, а также продиктовано целым рядом требований, предъявляемых к ПНР:

1. Работы характеризуются узкой специализации, сложности.
2. В соответствии с правилами и нормами эксплуатации и наладку электрооборудования напряжением до 1000 В запрещается работать на оборудовании под напряжением, менее двух членовкоманды.

Распределение объем распределения работ между членами бригадира выполняет как опытный профессионал, который знает каждый член команды. Продолжительность любой операции на каждой стадии, зависит от технической сложности. Состав бригады, выполняющей ввод приведен в таблице 9.

*Таблица 6- Состав бригады, выполняющей ПНР*

	Состав бригады	Категория
1	Инженер-наладчик (бригадир)	I
2	Инженер-наладчик	II
3	Инженер-наладчик	III

С командой наладчиков, изготовление и пуско-наладочных работ, трудового договора, в котором предусмотрен срок и количество поведения работы, которая представляет собой соглашение. Срок ввода в эксплуатацию составляет 22 рабочих дней по 8 часов.

Объем распределения и время ПНР на этапы, показанные в таблице 7

*Таблица 7- Распределение времени выполнения ПНР*

№	Члены бригады	Время выполнения работ по этапам, раб. дни				
		1	2	3	4	5
1	Инженер-наладчик (бригадир)	3	7	6	4	2
2	Инженер-наладчик	3	7	6	4	2
3	Инженер-наладчик	3	7	6	4	2

По таблице 7. строим календарный график, на июль месяц 2016 года, проведения ПНР.

Таблица 8- Календарный план-график ПНР

Этап	Исполнит.	t-емкость, дни Рабочие	Выполнение ПНР по дням																														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1 – ый	Инженер – наладчик I кат.	3	■	■	■			■	■					■	■							■	■						■	■			
	Инженер – наладчик II кат.	3	■	■	■			■	■					■	■							■	■						■	■			
	Инженер – наладчик IIIкат	3	■	■	■			■	■					■	■							■	■						■	■			
2 – ой	Инженер – наладчик I кат.	7				■	■		■	■	■	■	■	■	■							■	■						■	■			
	Инженер – наладчик II кат.	7				■	■		■	■	■	■	■	■	■							■	■						■	■			
	Инженер – наладчик IIIкат	7				■	■		■	■	■	■	■	■	■							■	■						■	■			
3 – ий	Инженер – наладчик I кат.	6						■	■					■	■	■	■	■	■			■	■						■	■			
	Инженер – наладчик II кат.	6						■	■					■	■	■	■	■	■			■	■						■	■			
	Инженер – наладчик IIIкат	6						■	■					■	■	■	■	■	■			■	■						■	■			
4 – ый	Инженер – наладчик I кат.	4						■	■					■	■							■	■		■	■	■			■	■		
	Инженер – наладчик II кат.	4						■	■					■	■							■	■		■	■	■			■	■		
	Инженер – наладчик IIIкат	4						■	■					■	■							■	■		■	■	■			■	■		
5 – ый	Инженер – наладчик I кат.	2						■	■					■	■							■	■						■	■		■	■
	Инженер – наладчик II кат.	2						■	■					■	■							■	■						■	■		■	■
	Инженер – наладчик IIIкат	2						■	■					■	■							■	■						■	■		■	■

## Расчет бюджета проекта по внедрению винтельно-каскадного регулируемого электропривода

### 4.7 Смета затрат на ПНР

Между организацией и пусконаладочной группой составляется контракт на проведение ПНР с оплатой после окончания ПНР по контрактной цене, согласно указанной цене на 31 марта 2016 года в полном размере 68 951,82 рублей. В контракте указано, что инженер-наладчик бригадир (I категория) получает 40% (27580,72 руб.), инженер-наладчик (II категория) 32% (22064,58 руб.), инженер-наладчик (III категория) 28% (19306,50 руб.) от фонда оплаты труда.

Дополнительные затраты по заработной плате приведены в таблице 9.

Таблица 9- Дополнительные затраты по заработной плате

№	Наименование статей	Плановые (руб.)	Примечание
1	Стоимость работ	41200,30	
2	Районный коэффициент	12360,09	30% от п. 1
3	Коэффициент, действующий при проведении ПНР в зоне работы действующего оборудования	4120,03	10% от п. 1
4	Коэффициент, учитывающий работы на установке, находящейся под напряжением	12360,09	30% от п. 1
5	Основная заработная плата, в том числе и дополнительные выплаты	70040,51	п. 1+п.2+п.3+п.4
6	Дополнительная заработная плата	7004,051	10% от п.5
7	Итого	77044,561	п.5+п.6

Расходы организации для выполнения пуско-наладочных работ приведен в таблице 10.

Таблица 10- Общая стоимость затрат на проведение ПНР

№	Наименование статей	Плановые (руб.)	Примечание
1	Заработная плата	77044,561	
2	Взносы во внебюджетные фонды	23113,36	30% от п.1
3	Накладные расходы	12327,12	16% от п.1
4	Стоимость работ	112485,051	п.1+ п.2+п.3
5	Прибыль	8998,80	8% от п.4
6	Цена ПНР	121483,855	п.4+п.5
7	НДС	21867,09	18% от п.6
8	Итого	143350,949	п.6 + п.7

Цены всех комплектующих представлены в таблице 1 на 31 марта 2016 года.

Таким образом, для проведения пуско-наладочных работ затратило предприятия 143 350,9 рублей, для покупки оборудования 375 913 рублей.

Поставленные задачи по модернизации завершены за 22 рабочих дней.

#### 4.8 Расчет расходов при эксплуатации электропривода (стоимости силовой электроэнергии)

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

- Затраты на электроэнергию
- Заработная плата обслуживающего персонала
- Амортизационные отчисления
- Расходы на ремонт
- Стоимость материалов, связанных с работой

Мощность электроэнергии используется для питания привода рабочих механизмов и рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}} = \frac{45 \cdot 4000 \cdot 0.6 \cdot 0.6 \cdot 0.7}{0.92 \cdot 0.9} = 54782.6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$



де  $P_{уст}$  – мощность установленного оборудования, 45кВт;

$F_d$  – фактический годовой фонд времени работы оборудования, 4000 часов, автоматические линии в 2 смены;

$k_m$  – коэффициент одновременного использования электродвигателей (0.6-07);

$k_e$  – коэффициент использование по времени, машинного оборудования (0.6-0.8);

$k_z$  – средний коэффициент загрузки оборудования (0.7-0.8);

$k_c$  – коэффициент, учитывающий потери, в электросети (0.92-0.95);

$k_{дв}$  – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0.9-0.93).

Энергетические затраты в денежном выражении рассчитывается следующим образом:

$$C_{эл} = W_{сил.эн} \cdot C_э = 54782.6 \cdot 3,52 = 192834.7 \text{ руб} / \text{год}$$

где  $C_э = 3,52$  руб. – стоимость одного кВт-часа электроэнергии для промышленных предприятий.

#### 4.9 Расчет амортизационных отчислений

Расчет амортизационных отчислений

Годовая амортизация рассчитывается на основе ставок амортизации

$$A_{год} = K \cdot \frac{H_A}{100}$$

где

$K$  – капитальные вложения в электрооборудовании;

$H_A$  – проценты по амортизационных отчислений.

– Электродвигатель – 9,6%

$$A_{год} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 131493 \cdot 0.096 = 12623.3.$$

– Преобразователь – 3.5%

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 170420 \cdot 0,035 = 5964,7.$$

– Редуктор – 3,5%

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 74000 \cdot 0,035 = 2590.$$

– Электропривод – 9,6%

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 375913 \cdot 0,096 = 36087,6$$

Электрооборудование (двигатели, генераторы, трансформаторы и т.д.) новинка. Он подлежит планового технического обслуживания, периодичность и объем которых регулируется перебоем системы ППР и промышленных электрических сетей.

#### 4.10 Заработная плата обслуживающего персонала

Обслуживание привода с преобразователем частоты, двигатель и редуктор входит в обязанность оперативно-ремонтного персонала ремонтной группы организации.

Чтобы применить базовую оплату начисленных за время работ на предприятии, а также различные дополнительные платежи (сверхурочная, работа в выходные дни, региональные надбавки, премии, региональный коэффициент)

Оклад наладчика автоматических линий по присвоенному 6 разряду: 9090 руб.

Дневная заработная плата:

$$\text{Знал} = \frac{(1,3 \cdot Z_{\text{т}} + \text{Надб}) \cdot P_{\text{к}}}{F_{\text{д}}}$$

где  $Z_{\text{т}}$  – оклад  
в месяц;

$H_{\text{доб}} = 3000 \text{ руб}$  – добавка за сложности;

1,4 – дополнительно отчисления за должности;

$P_{\text{к}} = 1,3$  – коэффициент, учитывающий районное регулирование;

$F_d = 22$  количество рабочих дней в месяц.

Рассчитаем основную зарплату:

$$Z_{нал} = \frac{(1.4 \cdot 9090 + 3010) \cdot 1.3}{22} = 1155 \text{ руб / дн}$$

Основная заработная плата за период работы:

$$Z_{осн} = Z \cdot \tau_p ;$$

где  $\tau_p$  – в рабочее время:

$\tau_p = 247$  – в рабочее время – 1 год (в 2016 году 247 рабочих дней);

Рассчитаем основную зарплату за год:

$$Z_{осн} = Z_{нал} \cdot \tau_p = 1155 \cdot 247 = 285,285 \text{ (руб);}$$

. Дополнительная заработная плата - плата за незаконченного времени (Оплачиваемые отпуска, и так далее)

Дополнительная заработная плата рассчитывается следующим образом

$$Z_{доп} = 0.15 \cdot Z_{осн} ;$$

Вычисляем дополнительную зарплату:

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 285,285 = 42792,75 \text{ (руб);}$$

Суммарная зарплата:

$$Z_{\Sigma} = Z_{осн} + Z_{доп} = 285285 + 42792,75 = 328077,75 \text{ (руб).}$$

Расчет затрат на оплату труда сведем в таблицу 11

Таблица 11- Затраты на оплату труда

	Исполнитель
Основная зарплата, руб.	285285
Дополнительная зарплата, руб.	42792,75
Итого	328077,75

Страховые отчисления на сегодняшний день по существующему законодательству составляет 30 %:

$$\text{Отч.в.бф} = 30\% \cdot 3 / \pi = 0,30 \cdot 328077,75 = 98423,32 \text{ (руб);}$$

Обязанности по обслуживанию линии ЛКОР-125 занимают 10% рабочего времени наладчика.

Зарплата обслуживающему персоналу в год составит:

$$Z_{\text{ПЕР}} = 328077,75 \cdot 0,1 = 32807,775 \text{ (руб/год).}$$

### **Общая сумма эксплуатационных расходов**

Общая сумма эксплуатационных расходов складывается из затраты на силовую энергию  $C_{\Sigma}$ , годовых амортизационных отчислений  $A_{\text{год}}$  и зарплаты обслуживающего персонала  $Z_{\text{ПЕР}}$ .

$$P_{\Sigma} = C_{\Sigma} + A_{\text{год}} + Z_{\text{ПЕР}} = 192834,7 + 36087,6 + 32807,775 = 261730,075 \text{ (руб/год)}$$

При расчетах общих затрат на эксплуатацию расходы на электроэнергию составили 192834,7 (руб/год), заработная плата обслуживающего персонала 32807,775 (руб/год), амортизационные отчисления 36087,6 (руб/год). Общая сумма эксплуатационных расходов составила 261730,075 (руб/год).

## **4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования**

Эффективности происходит на основании расчетов интегральных показателей эффективности научных исследований. Его присутствие связано с определением средневзвешенных двух величин: экономической эффективности и эффективности использования ресурсов.

### **4.11. Интегральный финансовый показатель**

Определяется следующим выражением:

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

– ГДЕ  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – разработка интегрированного финансового показателя;

$\Phi_{p.i}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения включая ПНР (таблица 1);

$$\Phi_{p1} = 375\,913 + 143\,350,9 = 519\,263,9 \text{ руб}$$

$$\Phi_{p2} = 395\,752 + 143\,350,9 = 539\,102,9 \text{ руб}$$

$$\Phi_{p3} = \Phi_{\text{max}} = 469\,120 + 143\,350,9 = 612\,470,9 \text{ руб}$$

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость всего проекта

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = \frac{519263.9}{612470.9} = 0,84$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = \frac{539102.9}{612470.9} = 0.88$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = \frac{612470.9}{612470.9} = 1$$

Полученное значение интегрального развития финансовых показателей отражают соответствующие численные более дешевые затраты на разработку в раз.

#### 4.12. Интегральный показатель ресурсоэффективности

Она определяется следующим образом:

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

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

$a_i$  – весовое соотношение  $i$ -го варианта разработки исполнения;

$b_i^a, b_i^p$  – балл  $i$ -го варианта осуществления разработки устанавливается экспертом, выбранным шкалой оценки;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы 12.

Таблица 12- Сравнительная оценка вариантов исполнения

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1 Электропривод с Частотным преобразователем.	Исп.2 Электропривод с фазным ротором.	Исп.3 Электропривод постоянного тока
1.Повысить производительность труда пользователей	0,1	5	5	5
2. Практичность в эксплуатации (отвечает условиям показателей)	0,15	5	3	3
3. Помехоустойчивость	0,15	4	3	4
4. Энергосбережение	0,20	5	5	5
5. Надежность	0,25	5	4	4
6. Материалоемкость	0,15	4	5	3
ИТОГО	1	4,7	4,15	4

$$I_{p-исп1}=5 \cdot 0,1+5 \cdot 0,15+4 \cdot 0,15+5 \cdot 0,2+5 \cdot 0,25+5 \cdot 0,15+5 \cdot 0,01=4,7;$$

$$I_{p-исп2}=5 \cdot 0,1+3 \cdot 0,15+3 \cdot 0,15+5 \cdot 0,2+4 \cdot 0,25+4 \cdot 0,05+5 \cdot 0,1=4,15;$$

$$I_{p-исп3}=5 \cdot 0,1+3 \cdot 0,15+4 \cdot 0,15+5 \cdot 0,2+4 \cdot 0,25+5 \cdot 0,05+3 \cdot 0,1=4.$$

#### 4.13. Интегральный

#### показатель эффективности вариантов исполнения

#### разработки

( $I_{испi}$ ) определяется на основе интегрального показателя эффективности использования ресурсов и комплексной финансовой меры в соответствии с формулой:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}} = \frac{4,7}{0,9} = 5,22$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}} = \frac{4,15}{0,97} = 4,28$$

$$I_{исп.3} = \frac{I_{р-исп3}}{I_{финр}^{исп.3}} = \frac{4}{1} = 4$$

Сравнение интегрального показателя эффективности разработки вариантов проекта будет определять относительную эффективность (см. Табл. 13) и выбрать наиболее подходящий вариант предлагаемого.

Относительная результативность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.1}} = \frac{5,22}{5,22} = 1$$

$$\mathcal{E}_{cp2} = \frac{I_{исп.2}}{I_{исп.1}} = \frac{4,28}{5,22} = 0,81$$

$$\mathcal{E}_{cp3} = \frac{I_{исп.3}}{I_{исп.1}} = \frac{4}{5,22} = 0,76$$

Таблица 13- Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1 Электропривод с Частотным преобразователям.	Исп.2 Электроприво д с фазным ротором.	Исп.3 Электроприво д постоянного тока
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,84	0,88	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	4,15	4
3	Интегральный показатель эффективности	5,22	4,28	4

4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,81	0,76
---	--	---	------	------

Сравните значения с точки зрения финансовых и ресурсных точек эффективности к первому варианту используется в проекте, как наиболее эффективные.



## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г2Б1	Кучимов Рустам Панжиевич

<b>Институт</b>	<b>ИнЭО</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Электропривода и электрооборудования</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	«Электроэнергетика и электротехника»/ «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Регулируемый электропривод ленточного конвейера для транспортировки руды на предприятии. В данной работе был заменен нерегулируемый на регулируемый. Выбран асинхронный двигатель и регулятор скорости АВК, а также был произведен их расчет и симуляция работы в программной среде.
--	--

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

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p>1.1. Вредные производственные факторы:</p> <p>СТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.</p> <p>- Шум постоянный широкополосный с непрерывным спектром шириной более одной октавы:</p> <p>ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.</p> <p>-Физическая природа вредности, персонал подвергается широкополосному шуму во время обслуживания регулятора скорости АВК т.к. оборудование находится в электро-шкафу находящегося в непосредственной близости от конвейера, источником шума является электродвигатель редуктор ленточного конвейера;</p> <p>-Вредные условия труда. Уровень воздействия шума способен вызвать стойкие функциональные изменения в организме работника, приводящие к появлению и развитию начальных форм профессиональных заболеваний или профессиональных заболеваний легкой степени тяжести (без потери профессиональной трудоспособности), возникающих после продолжительной экспозиции (пятнадцать и более лет);</p>
---	--

	<p>-Допускаемые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах следует принимать: ГОСТ 12.1.003–2014 Умственная работы, по точному графику с инструкцией, точная категория зрительных работ дБ А 65</p> <p>-ГОСТ Р 12.4.211-99 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Противошумы.</p> <p>Средства и методы коллективной защиты на объекте отсутствуют.</p> <p>Средства индивидуальной защиты противошумные вкладыши противошумные наушники, встроенные в головной убор.</p> <p>- Пыль рудная:</p> <p>При работе конвейера рудная пыль поднимается вместе с воздухом попадает в дыхательные пути обслуживающего персонала. Вредные условия труда. Это может привести к таким профессиональным заболеваниям как силикоз.</p> <p>Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ.</p> <p>Средства индивидуальной защиты являются: Респираторы. Для коллективной защиты проводятся влажная уборка на рабочем месте путем смывки.</p> <p>- Недостаточная освещенность рабочей зоны. СанПин РФ №23-05-95 расчет искусственного освещения территории промышленных предприятий ГОСТ 21.607.</p> <p>1.2. Опасные производственные факторы: ГОСТ 12.4.283-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Комплект защитный от поражения электрическим током.</p> <p>- Электробезопасность это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества</p> <p>Механические опасности от действия тока проявляется в повреждениях (разрыве, расслоении и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта. Термические опасности проявляются в ожогах, нагреве кровеносных сосудов и других органов, в результате чего в них возникают функциональные расстройства.</p>
--	--

<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul> <p>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p>	<p>-Объект находится в промышленной зоне и не воздействует на жилую зону.  -Оборудование не воздействует негативно на атмосферу земли.  -Оборудование не загрязняет гидросферу земли.  -При утилизации ПЛК организация обязуется утилизировать оборудование согласно ГОСТ Р 55102-2012  Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководство по безопасному сбору, хранению, транспортированию и разборке отработавшего электротехнического и электронного оборудования.  -При выходе из строя асинхронного двигателя, у предприятия имеется свой обмоточный цех, где у двигателя перематывается обмотка статора, а старую обмотку утилизируют согласно ГОСТ 1639-2009 Лом и отходы цветных металлов и сплавов. Общие технические условия.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> </ul> <p>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p>	<p>-Поражение электрическим током, пожар, падение с высоты.  -Пожар.  -Обеспечение средствами пожаротушения на объекте и соблюдение правил пожарной безопасности.  - Действия и меры по ликвидации ЧС выполняем согласно РД 153-34.0-03.301-00 Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий.</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> </ul> <p>организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>"Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 03.07.2016) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2017).  -ТК РФ, Статья 117. Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.  - ТК РФ, Статья 147. Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда  -ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования (Переиздание. В октябре 2001г.)</p>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Король И.С.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Кучимов Рустам Панжиевич		

## **Введение**

Охрана труда - система сохранения жизни и здоровья работников на рабочем месте, в том числе: правовой, социально - экономические, организационно - технические, санитарно - гигиенические, лечебно - профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Данный раздел посвящен анализу опасных и вредных производственных факторов при выполнении пуско-наладочных работ и эксплуатации проектируемого привода ленточного конвейера, решению вопросов обеспечения защиты от выявленных факторов на основе требований действующих нормативно-технических документов.

Работы по пуску и наладке привода ленточного конвейера проводятся со снятием напряжения. При монтаже и наладке данного привода используются электроинструменты с изолирующими рукоятками (до 1000 В). Все перечисленное электрооборудование имеет точки заземления и предназначено для работы в электроустановках до 1000 В.

### **1. Анализ вредных производственных факторов**

Реальные производственные условия характеризуются, как правило, наличием некоторых вредных производственных факторов. Анализ данных факторов необходим с целью их дальнейшего предупреждения.

«ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» регламентируется ГОСТом 12.1.003-2014

**Шум**неблагоприятно воздействуя на человека вызывает психические и физиологические нарушения, снижающие работоспособность и создает предпосылки для общих и профессиональных заболеваний (тугоухость, неврит слухового нерва и др.) Общие требования безопасности» регламентируются уровни шума для различных категорий рабочих мест на частотах от 63 до 8000 герц. Для постоянного шума нормируемым параметром является эквивалентный уровень звука в децибелах. Допустимый уровень шума на

рабочих местах производственных предприятий, на их территории и в помещениях составляет 80 дБа. Согласно требований указанного ГОСТа зоны с повышенным уровнем шума (более 80 дБа) должны обозначаться знаками безопасности, а работающие в таких зонах обеспечиваться средствами индивидуальной защиты.

**Пыль.** Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны, регламентируется ГОСТом 12.1.005-88. ССБТ.

Из технологических процессов добычи полезных ископаемых наиболее пылеобразующими являются работы по дроблению и измельчению горного массива.

При скреперовании, погрузке, транспортировке процессы пылеобразования менее интенсивны, они вторичны, поскольку выделение пыли в воздух рабочих мест происходит из взорванной горной массы. Использование при этих технологических процессах воды – как средства борьбы с пылью, оптимальные её расходы в зависимости от производительности оборудования, приводят к существенному снижению концентраций пыли на рабочих местах. **К средствам индивидуальной защиты от пыли** относятся респираторы которые способны надежно защитить дыхательные органы от попадания в них пыли.

#### **Расчет искусственного освещения.** Согласно СНИП-23-05-95

В рассматриваемой цехе используется совместное освещение: освещение, при котором недостаточное естественное освещение дополняется искусственным электрическим, выполненным по системе общего освещения. При недостаточном освещении рабочего места необходимо применять дополнительное местное освещение (фонари или переносные светильники напряжением не выше 12 В). Запрещается применять переносные светильники напряжением 220 В. При работах с лампами, содержащими пары ртути (лампы белого света ЛБС, лампы дневного света ЛДС, лампы ДРЛ) надо

быть осторожным, чтобы не разбить лампу. Если же лампа разбилась, то помещение надо проветрить, а металлическую ртуть собрать с помощью резиновой груши. Полноту сбора ртути проверяют с применением лупы. Оставшуюся ртуть удаляют с пола ветошью, смоченной 0.2 % подкисленным раствором марганцево-кислого калия или 20% раствором хлорного железа. Все отходы ртути сдавать на хранение до утилизации в специальную ртутную комнату.

Параметры помещения (слесарное помещение):

ширина  $A=6$  м, длина  $B=7,8$  м, высота  $H=5$  м.

#### 1. Выбор источников света.

Среди массового использования источников света, выпускаемых нашей промышленностью являются лампы накаливания, люминесцентные лампы и ДРЛ.

Основной источник света для общего, так и для комбинированного освещения являются люминесцентные лампы. Наиболее экономичным является тип лампы ЛБ. Если специальные требования к цветопередаче следует использовать тип лампы ЛД или ЛДЦ. В нашем случае, мы выбираем тип лампы ЛБ.

#### 2. Выбор системы освещения.

Проектирование искусственного освещения двух систем: общее (равномерное и локализованное) и комбинированное (общее местное добавленную стоимость). В рабочем помещении с использованием общего равномерного освещения.

#### 3. Подбор осветительных приборов.

Основные показатели, которые определяют выбор лампы при проектировании системы освещения следует рассматривать дизайн лампы с учетом условий окружающей среды, распределения света лампы, эффективность светильника.

Выберите тип наружного освещения двойной лампой ОД для общего освещения, потому что комната является хорошим отражением потолка и

стен.

4. Подбор осветительных приборов и коэффициента безопасности. Основные требования и значения номинальных рабочих поверхностей освещения, содержащихся в строительных норм и правил СНиП-23-05-95. Выбор освещения зависит от размера объекта различения (толщина линии, риски, письмо высота), контраст с фоном объекта, фоновых характеристик. Согласно СНиП-23-05-95, освещение помещений для этой работы 200 Люк при освещении лампами накаливания. Полученное значение корректируется на коэффициент запаса прочности освещения, так как со временем из-за загрязнения светильников и ламп уменьшают световой поток снижается освещенность.

Для районов с выделением пыли низкой КЗ = 1,5 - с люминесцентными лампами.

5. Размещение осветительных приборов. Организуем светильники рядами параллельно стенам с окнами Расстояние между лампами в серии  $\lambda=L/h$  где  $L$  -расстояние между рядами ламп;  $h$  - высота лампы висит над рабочей поверхностью.  $\lambda=1.3$ . Расстояние от стен до крайних светильников  $1/3L$ .

Высоту подвеса светильника принимаем равной  $h_c = 1.5$  м. Тогда высота подвеса светильника над рабочей поверхностью равна  $h = H - h_c - h_p = 5 - 1,5 - 1 = 2.5$  м.

( $h_p = 1$  м – высота рабочей поверхности).  $L = h \cdot \lambda = 2.5 \cdot 1.3 = 3.25$  м.

Устанавливаем 6 светильников.

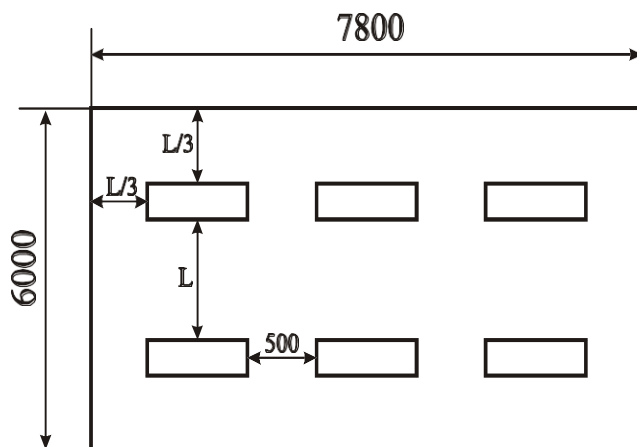


Рисунок –1 План расположения светильников в помещении.

Таблица №1 – Параметры выбранного светильника

Тип светильника	Количество и мощность лампы	Размеры, мм			КПД, %
		Длина	Ширина	Высота	
ОД-2-80	2·80	1531	266	198	75

#### 6. Расчет осветительной установки.

Расчёт производим методом коэффициента использования. Величина светового потока лампы определяется по формуле:  $F = (E \cdot k \cdot S \cdot Z) / n \cdot \eta$ , где:  $F$  – световой поток каждой из ламп, лм;  $E$  – минимальная освещенность, лк;  $k$  – коэффициент запаса;  $S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;  $n$  – число ламп в помещении;  $\eta$  – коэффициент использования светового потока;  $Z$  – коэффициент неравномерности помещения. Определим значение коэффициента  $\eta$ . Для определения коэффициента использования помещения вам нужно знать индекс  $i$ , отражательную способность стен и потолок, тип лампы.  $i = S / h \cdot (A+B)$ , где:  $S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;  $h = 2.5$  м – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью;  $A$  и  $B$  – сторона помещения. Находим индекс помещения:  $i = 7.8 \cdot 6 / 2.5 \cdot (7.8+6) = 1.357$ . Коэффициенты  $pc$  и  $pn$  оцениваем субъективно  $pc = 30\%$  и  $pn = 50\%$ . Значение коэффициента использования  $\eta = 51\%$ . Для светильников с люминесцентными лампами  $Z = 0.9$ .  $F = 4320$  (мощность лампы 80 Вт, лампа ЛБ). Определим минимальную освещенность -



$$E=(F \cdot n \cdot \eta)/(k \cdot S \cdot z)=(4320 \cdot 12 \cdot 0.51)/(1.5 \cdot (7.8 \cdot 6) \cdot 0.9)=418.46, \text{ лк.}$$

Согласно СНиП 23–05–95 величина освещённости при общем освещении составляет 400 лк, следовательно система освещения спроектирована правильно.

## **1.2 Анализ опасные производственные факторы.**

Опасным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или к другому внезапному ухудшению здоровья.

**-Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.** Регламентируется ГОСТом 12.1.038–82 ССБТ.

По статистике электротравматизм – наиболее частый вид травматизма. 65% электротравм заканчиваются смертельным исходом. Во избежание электротравматизма при пуско-наладочных работах, должна быть обеспечена электробезопасность. Электрическая безопасность - это система организационных и технических мер по защите человеческих действий от электрического тока, электрической дуги, статическое электричество, электромагнитное поле. Поражение электрическим током - результат воздействия на электрический ток тела человека и электрической дуги.

Электрический ток, проходящий через живой организм, производит тепловую (тепловой) эффект, который выражается в определенных областях тела, ожоги, нагрев кровеносных сосудов, крови, нервные волокна и т.д.

Электролитический (биохимическое) действие обусловлено разложением крови и других органических жидкостей, в результате чего значительное нарушение их физико-химических составов. Биологическая (механическое) действие за счет стимуляции и возбуждения живых тканей организма, сопровождающееся непроизвольными, судорожные сокращения мышц (в том числе сердца, легких).Кэлектрическими током

являются электрические ожоги (ток или контакт: дуги, комбинированные или смешанные, электрические знаки этикетке), металлизация кожи, механические повреждения, поражения электрическим током (поражение электрическим током). В зависимости от последствий поражения электрическим током подразделяются на четыре уровня: подергивание мышц без потери сознания, подергивание мышц с потерей сознания, потеря сознания и дыхательной недостаточности или сердечной функции, клиническая смерть в результате фибрилляции сердца или асфиксии (удушение).

**Техника безопасности. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. Регламентируется ГОСТом 12.2.003–91 ССБТ.**

Безопасность персонала при работах в электроустановках обеспечивается путем выполнения организационных и технических мероприятий.

Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ в электроустановках, являются:

- Оформление заказов на выполнение работ, порядок или перечень работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации; допуск к работе;
- Надзор во время работы;
- Оформление перерыва в работе, перевода в другое место, отделочные работы.

В ходе подготовки к работе с удалением напряжения должны быть в указанном порядке, что следующие технические мероприятия:

1. Выполните необходимые выключен и приняты меры по предотвращению напряжения питания на месте работы в результате ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов. Не прилагается к токоведущим частям, которые могут случайно приближающихся людей, техники и подъемного оборудования, на расстоянии меньше, чем указано в таблице №2

2. Приводы ручные и с помощью кнопок на пульте дистанционного управления коммутационных аппаратов должны быть вывешены запрещающие плакаты, а также торговые автоматы или имели место контрольные предохранители цепей и цепей питания коммутационных устройств вождения.

3. Проверьте наличие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током. Электрическое напряжение до 1000 В с заземленной нейтрал при использовании биполярной индикатора, чтобы проверить отсутствие напряжения нужно как между фазами и между каждой фазой и заземленным корпусом оборудования или защитным проводником. Разрешено использовать предварительно сертифицированных вольтметр. Не допускается использовать лампы.

4. Установлено заземление (заземлители включены, и где они не доступны, портативные заземления установлены). Переносное заземление сначала нужно прикрепить устройство к земле, а затем, после проверки отсутствия напряжения, установить к токоведущим частям. Чтобы удалить портативную землю должен быть в обратном порядке, сначала удалите ее из токоведущих частей, а затем отсоединить устройство от земли.

5. Индексы размещены плакаты "заземленных", экранированы при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части, расфасованные предупреждающие знаки и предписания. Электрические установки должны быть вывешены плакаты "заземленных" на приводах разъединителей, выключателей и сепараторов, при ошибочном включении которых может быть под напряжением, заземленной электрической секции, а на клавиши и кнопки, пульт дистанционного управления коммутационными аппаратами. Для временных ограждений остающихся под напряжением токоведущих частей, можно использовать экраны, экраны, экраны и т.п., изготовленные из изоляционного материала.

Напряжение, кВ		Расстояние от людей и использовали инструменты и Адаптировано из временного ограждения (м)	Расстояние от механизмов и г / п машин в рабочем и транспортном положении, стропов, грузозахватных приспособлений и расходных материалов
до 1	На ВЛ	0.6	
	В остальных электроустановках	Ненормируется (безприкосновения)	1.0
1-35		0.6	1.0
60,110		1.0	1.5
220		2.0	2.5

Таблица №2 – Допустимое расстояние до токоведущих частей

**Электрзащитные средства.** Регламентируется ГОСТом 13385-78

**Основные электрические устройства безопасности** - изоляция устройств электрической безопасности, изоляция, которая поддерживает долгосрочное рабочее напряжение, электростанции и которая позволяет работать на токоведущих частях под напряжением. Изоляция электрических устройств безопасности, что само по себе не является при заданном напряжении для защиты от поражения электрическим током, но дополняя основные средства защиты, а также служит для защиты от напряжений прикосновения и шага напряжения.

Основные электрические устройства безопасности в электроустановках

до 1000 В являются: изолирующий штанга; электроизмерительными изолирующими клещами; индикаторы напряжения; диэлектрические перчатки; и изолированные инструменты.

Для получения дополнительных электрических устройств безопасности для работы в электроустановках до 1000 В являются: диэлектрические галоши; диэлектрические ковры; изолирующие подставки и подкладки; изолирующий колпак.

Кроме выше перечисленных к электробезопасным средствам относятся: бесконтактные сигнализаторы наличия напряжения; защитные ограждения (щиты, ширмы, изолирующие накладки); переносные заземления; плакаты и знаки безопасности.

## **2. Экологическая безопасность.** Регламентируется ГОСТом Р 55102-2012, ГОСТом 1639-2009

Негативное воздействие объекта на окружающую среду практически отсутствует кроме небольшого количества отходов в виде отработанных материалов для исследований. Активной формой защиты окружающей среды является переход к безотходным и малоотходным технологиям: разработка систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы. Пассивные методы защиты окружающей среды включают комплекс мероприятий по ограничению выбросов промышленного производства с последующей утилизацией и захоронением отходов

- Создание и обустройство санитарно-защитной зоны предприятия.
- Основными источниками загрязнения могут быть отходы (осадок, мусор), образовавшиеся в процессе очистки сточной воды. Переход к безотходным и малоотходным технологиям, разработка систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы, уменьшит загрязнения окружающей среды.

### **3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при пожаре.**

Действия и меры по ликвидации ЧС выполняем согласно РД 153-34.0-03.301-00 Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий. В соответствии с «Типовыми правилами пожарной безопасности» (ПБ) утвержденными главным управлением пожарной охраны, ответственность за обеспечение пожарной безопасности несет руководитель предприятия или заместитель.

Ответственность за пожарную безопасность цехов, отделов, складов, мастерских и других производственных участков несут руководители цеха, отдела, мастерских или лица, исполняющие их обязанности.

Члены добровольных пожарных дружин (ДПД), а также тех, которые включены в экипаж должны быть полностью осведомлены о правилах пожарной безопасности, уважения и требовать от других их реализации, контролировать готовность действовать стационарные и первичногопожаротушения оборудования, а также в случае огонь, активно выполнять действуя по его подавлению.

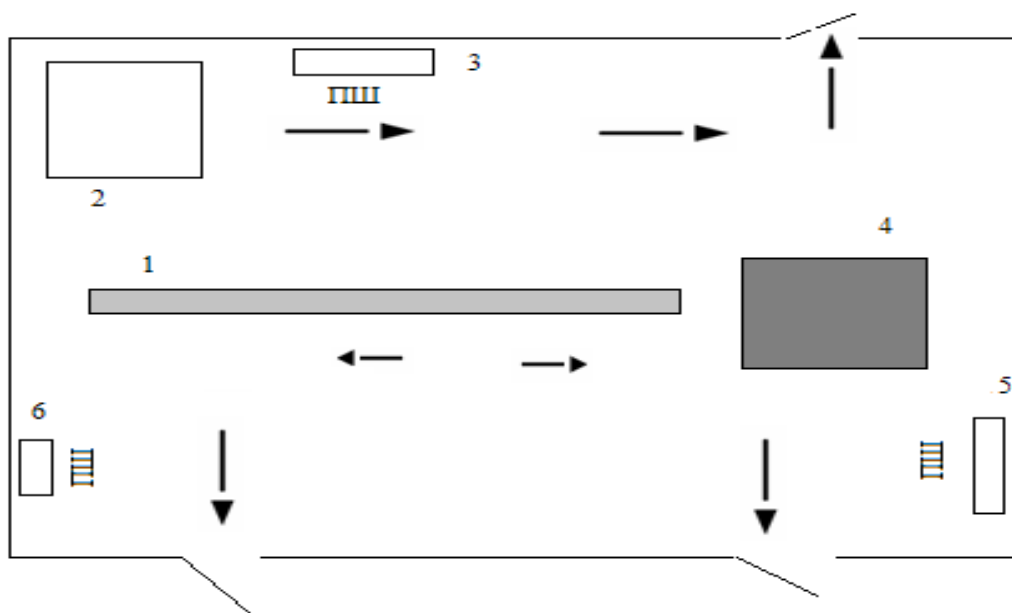
Проходах, выходы, коридоры, тамбуры, лестницы не разрешается загромождать различные объекты и оборудование. Все двери эвакуационных выходов должны свободно открываться в направлении выхода из здания. В случае возникновения пожара должна быть обеспечена возможность безопасной эвакуации людей, расположенные в производственном здании.

Количество аварийных выходов из каждого производственных зданий и помещений, а также их разработки и планирования решения должны соответствовать строительным нормам и правилам.

В каждой комнате производственного мастера должна быть схема эвакуации рабочих из цеха, участка, отдела и т.д.

Запрещается производить перепланировку производственных и служебных помещений без предварительной разработки проекта, согласованного с местными органами надзора и утвержденного главным

инженером комбината. В производственных зданиях I, II и III степени огнестойкости. Территории и помещения должны быть укомплектованы необходимыми средствами пожаротушения в соответствии с действующими нормами. Обслуживающий и ремонтный персонал должен знать места расположения первичных средств пожаротушения, в пределах рабочего места, пожарных кранов и уметь пользоваться ими.



*Рисунок 2 – План эвакуации при пожаре: 1 – конвейер, 2 – склад, 3,5,6 – пожарный шит, 4 – рудная мельница.*

При возникновении пожара или признаков горения по телефону лично или через окружающих людей: вызвать пожарную часть; удалить в безопасное место людей; приступить к ликвидации пожара имеющимися средствами пожаротушения с соблюдением мер безопасности.

### **Электрические установки.**

Регламентируются ГОСТом Р МЭК 60050-826-2009

Электрические сети и оборудование, используемые в промышленности должны соответствовать действующим «Электрические правила установки», «Правил технической эксплуатации электроустановок» и «правила техники

безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей». Неисправности в электрической и электрооборудования, которые могут вызвать искрение, короткое замыкание, повторный чрезмерный нагрев горючей изоляции кабелей и проводов должны быть отремонтированы немедленно дежурный персонал. Дефектный сети должен быть отключен, чтобы привести его в пожаре. Аварийные светильники должны быть подключены к независимому источнику питания.

### **Огнетушители.** Регламентируются ГОСТом Р 51057-2001

Огнетушители - технические устройства, предназначенные для тушения пожаров в начальной стадии их возникновения. Огнетушители классифицируются по типу огнетушащего вещества используется, объем тела и способа подачи огнетушащего состава

**Виды огнетушащих веществ:** пенные; газовые; порошковые; комбинированные.

По размеру корпуса: ручные малолитражные с размером корпуса до 5л; промышленные ручные с размером корпуса от 5 до 10л; стационарные и передвижные с размером корпуса выше 10л.

По методике подачи огнетушащего состава: под давлением газов, возникающих в итоге химреакции компонентов заряда; под давлением газов, подаваемых из специального баллончика, размещенного в корпусе огнетушителя; под давлением газов, закаченных в корпус огнетушителя; под личным давлением огнетушащего способы.

По облику пусковых приборов: с вентильным затвором; с запорно-пусковым устройством пистолетного типа; с запуском от неизменного источника давления.

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

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны регламентируется ГОСТом 12.02.032.78, работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего категории работ - по ГОСТ 12.1.005-88.

Рабочее место должно соответствовать требованиям



ГОСТ 12.02.032.78:рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество; рабочий стул должен иметь дизайн, исключающий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте; рабочее место должно соответствовать техническим требованиям и санитарным нормам.

В соответствии с СН-245-71 в помещении должен быть организован воздухообмен. Для улучшения воздухообмена необходимо выполнить следующие технические и санитарно-гигиенические требования: общий объем притока воздуха в помещении должен соответствовать объему вытяжки; правильное размещение приточной и вытяжной вентиляции.

В соответствии с СН-181-70 рекомендуются следующие цвета окраски помещений: потолок - белый или светлый цветной; стены - сплошные, светло-голубые; пол - темно-серый, темно-красный или коричневый. Применение указанной палитры цветов обусловлено ее успокаивающим воздействием на психику человека, способствующим уменьшению зрительного утомления. При выполнении интерьера, обычно выбирают не более трех основных цветов небольшой насыщенности. Окраска оборудования и приборов, в основном, имеет светлые цвета с высококонтрастными органами управления и надписями к ним.

### **Заключение**

В разделе безопасность и экологичность проекта произведен анализ опасных и вредных факторов, имеющих место на Электромоторных участка на предприятиях механической обработки станины двигателя. Проведен анализ причин травматизма, а также определены меры по технической безопасности жизнедеятельности человека, противопожарной безопасности, производственной санитарии, по охране труда и окружающей среды.

## Заключение

В данной работе спроектирован электрический привод крутонаклонного конвейера с регулированием скорости двигателя при помощи системы АВК для транспортировки руды на предприятии «Медная обогатительная фабрика».

Выбран асинхронный двигатель с фазным ротором типа 4АНК 250 М4 УЗ, рассчитаны и построены естественные и регулировочные механические и электромеханические характеристики двигателя. Был выбран реостатный способ пуска. Выбраны элементы схемы. Для осуществления торможения двигателя до нулевой скорости после выполнения рабочих циклов используют динамическое торможение. Рассчитаны и построены переходные характеристики  $n=f(t)$  и  $M=f(t)$  за цикл работы. Выбранный двигатель удовлетворяет требованиям производственного механизма.

Были сняты естественные и искусственные механические и электромеханические характеристики и были сравнены с характеристиками снятыми с помощью программы MATLAB Simulink

Основным результатом, которые могут быть получены при замене нерегулируемого электропривода на АВК, являются следующее:

- Регулирования электропривода в различных скоростных диапазонах в зависимости от требований технологического процесса;
- Экономия электроэнергии;
- Экономия в ремонтах, так как установлено за место устаревшего и физический изношенного оборудование новое;

В экономической части ВКР рассмотрены вопросы планирования и поведения пуско-наладочных работ электропривода ленточного конвейера. Составлена смена на проведение ПНР и построен график занятости исполнителей при выполнении пуско-наладочных работ.

В разделе безопасности и экологии проекта рассмотрены вопросы: техники безопасности; промышленной безопасности; анализ опасных и вредных производственных факторов; пожарная безопасность; также

мероприятия по охране труда и окружающей среды.

Такой путь модернизации электропривода конвейера позволяет не только заменить устаревшее оборудование, но и решить ряд задач технико-экономического характера, а именно: снизить эксплуатационные расходы по обслуживанию системы, повысить гибкость управления.

## Список литературы:

1. Г. Б. Онищенко, И. Л. Локтева; Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания. – М.: Энергия, 1979 – 200 с., ил.
2. А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская; Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с., ил.
3. А.Ю. Чернышев, Н.В. Кояин; Проектирование автоматизированных электроприводов: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 102с.
4. Г. Б. Онищенко, М. Г. Юньков; Электропривод турбомеханизмов. – М.: Энергия, 1972 – 240 с., ил.
5. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В. А. Елисеева и А. В. Шкнявского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с., ил.
6. Донченко А.С., Донченко В.А. Справочник механика рудообогатительной фабрики. –М.: Недра, 1986
7. Терехин В.Б. компьютерное моделирование системы электропривода постоянного и переменного тока в SIMULINK. 2015.- 307с.
8. Королева Н.И. Менеджмент: Методическое пособие к выполнению организационно-экономического раздела ВКР.
9. Процессы производственные. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.3.002.
- 10.Оборудование производственное. Общие требования безопасности. ГОСТ12.2.003.
- 11.Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. ГОСТ 12.1.038 изменение01.04.88.
- 12.Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий. РД 153–34.0–08.301–00 (ВППБ01–02–95).  
Правила безопасности при работе с инструментом и приспособлениями.

Министерство топлива и энергетики российской федерации.2000г