

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

---

Энергетический институт  
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Кафедра ЭПЭО

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Динамические характеристики электропривода вентильного двигателя</b>

УДК 62-83:621.313.13.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2А	Гецман Антон Константинович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Образцов К.В.			

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2016 г.

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

---

Институт – ЭНИН  
Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
Кафедра – Электропривод и электрооборудование

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

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

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2А	Гецману Антону Константиновичу

Тема работы:

Динамические характеристики электропривода вентильного двигателя	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	<i>Двигатель ДБМ150-4-1,5-3, параметры питающей сети 220В, 50Гц.</i>
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<i>Аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в области системы управления вентильного двигателя; На основании произведенного литературного анализа создать модели вентильного двигателя в неподвижной и вращающейся системах координат. Произвести расчеты и выбрать оборудование для реализации технического решения.</i>
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Основное исследование	Образцов К.В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трофимова М.Н.
Социальная ответственность	Дашковский А.Г..

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент	Образцов К.В.			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5Г2А	Гецман А.К.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Г2А	Гецману Антон Константинович

<b>Институт</b>	<b>Энергетический</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭПЭО</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавр</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Электропривод и автоматика</b>

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 13% районный коэффициент
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	27,1 отчисления на социальные нужды
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений. Оценки перспективности проекта по технологии QuaD.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки : -определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; -заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> 2. <i>Оценочная карта QuaD</i> 3. <i>График Ганта</i> 4. <i>График проведения и бюджет НИ</i> 5. <i>Определение ресурсоэффективности проекта</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	Трофимова М.Н.			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5Г2А	Гецман А.К.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2А	Гецману Антону Константиновичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электропривод и автоматика
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	<p>1. Описание рабочего при разработке выпускной квалификационной работы места на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вредных проявлений факторов производственной среды</li> <li>- опасных проявлений факторов производственной среды</li> <li>- негативного воздействия на окружающую природную среду</li> <li>- чрезвычайных ситуаций</li> </ul> <p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме.</p>		
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Анализ микроклимата с приведением соответствующих норм СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03;</li> <li>- Оценка влияния шума и электромагнитного излучения СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03;</li> <li>- Расчет освещения рабочей зоны, соответствующий СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03;</li> </ul> <p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- возможность поражения человека электрическим током;</li> <li>- основные мероприятия по обеспечению электробезопасности;</li> </ul> <p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Правила утилизации твердых отходов (ст. 19.14. КоАП РФ);</li> <li>- Компании по утилизации ЭВМ;</li> </ul> <p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выбор наиболее типичной ЧС – пожар в помещении;</li> <li>- описание пожарно-профилактических мероприятий по предотвращению возникновения пожароопасных ситуаций;</li> <li>- разработка плана эвакуации;</li> </ul> <p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Перечень законодательных и нормативных документов;</li> </ul>		
<b>Перечень расчетного и графического материала</b>	<p>Расчет искусственного освещения для помещения; Составление плана эвакуации из помещения</p>		
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>			

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2А	Гецман А.К.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 64 страницы, 19 рисунков, 30 таблицы, 47 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОПРИВОД, ВЕНТИЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Цель работы – рассчитать и выбрать элементы силовой цепи электропривода вентильного двигателя, сделать виртуальный лабораторный стенд.

В процессе исследования был произведен расчет параметров электродвигателя, механической системы электропривода вентильного двигателя, сделан выбор электрического оборудования.

С помощью технического средства MATLAB R2013a была создана имитационная модель вентильного двигателя и получены его динамические характеристики.

Бакалаврская выпускная квалификационная работа была осуществлена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	9
1.1 Расчет параметров и выбор элементов силовой цепи.....	10
1.1.1 Электродвигатель и расчет его параметров.....	10
1.1.2 Расчет параметров силового преобразователя.....	11
1.1.3 Выбор силовых вентиляей.....	11
1.1.4 Определение параметров силовой цепи.....	14
1.1.5 Структурная схема силового канала ЭП.....	15
1.2 Моделирование.....	15
1.2.1 Математическое описание вентильного двигателя .....	15
1.2.2 Модель ВД в неподвижной системе координат.....	17
1.2.3 Расчёт переменных и параметров в относительных единицах для ДБМ150-4-1,5-3.....	19
1.2.4 Имитационная модель ВД во вращающейся системе координат.....	22
1.2.5 Электропривод с ВД.....	25
1.3 Исследование различных циклов работы.....	27
2. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	31
2.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	31
2.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	31
2.1.2 Анализ конкурентных технических решений .....	33
2.2 Технология QuaD.....	34
2.3 SWOT – анализ.....	36
2.4 Планирование научно-исследовательских работ.....	40
2.4.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	40
2.4.2 Определение трудоемкости выполнения технического проекта .....	41
2.4.3 Разработка графика проведения научного исследования .....	42
2.5 Расчет бюджета для научно-технического исследования.....	46
2.5.1 Расчет материальных затрат НТИ .....	46

2.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы .....	48
2.5.3 Отчисление во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	51
2.5.4 Накладные расходы.....	51
2.5.5 Формирование сметы технического проекта.....	52
2.6 Определение конкурентоспособности проекта.....	53
3 Социальная ответственность .....	54
3.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	54
3.1.1 Расчет освещения.....	56
3.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	59
3.3 Охрана окружающей среды.....	60
3.4 Безопасность в ЧС.....	62
3.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	64
Заключение.....	65
Список использованных источников.....	66

## Введение

Вентильный электродвигатель (ВД)– это вид синхронного двигателя с использованием датчика положения ротора (ДПР), системы управления (СУ) (преобразователя координат) и силового полупроводникового преобразователя (СПП), коммутируемого по сигналу ДПР. Другое общепринятое название вентильного двигателя – бесконтактный двигатель постоянного тока (БДПТ). Целью БДПТ является улучшение свойств двигателей постоянного тока за счёт устранения щеточно-коллекторного узла.[1]

Ключевым различием вентильного двигателя от синхронного двигателя считается его самосинхронизация при помощи датчика положения ротора (ДПР), в следствии чего же у ВД частота вращения ротора пропорциональна частоте вращения поля, и частота вращения ротора находится в зависимости от напряжения питания.

В вентильном двигателе (ВД) индуктор располагается на роторе, на котором расположены постоянные магниты, якорная же обмотка БДПТ располагается на статоре. Питающее напряжение статорных обмоток ВД вырабатывается в зависимости от положения ротора.

Статор имеет стандартную конструкцию и похож на статор асинхронного двигателя. Статор ВД состоит из сердечника из электротехнической стали и уложенной в пазы по периметру сердечника медной обмотки, а также корпуса. Численность фаз двигателя определяется численностью обмоток. Традиционно выпускаются трехфазные двигатели, реже ВД с четырьмя фазами.[2]

Ротор делается с внедрением постоянных магнитов и имеет обычно от 2 до 8 пар полюсов с чередованием.

## 1.1. Расчет параметров и выбор элементов силовой цепи

### 1.1.1. Электродвигатель и расчет его параметров

В данной работе исследуется ВД, в качестве которого по заданию двигатель ДБМ150-4-1,5-3, паспортные данные которого приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Паспортные данные электродвигателя

Номинальная мощность	$P_{\text{дв.н}} = 6 \text{ кВт}$
Номинальное напряжение	$U_{\text{дв.н}} = 27 \text{ В}$
Номинальная частота вращения	$n_{\text{дв.н}} = 1500 \text{ об/мин}$
Номинальный КПД	$\eta_{\text{дв.н}} = 78 \%$
Сопротивление обмотки фазы статора	$R_{\text{оя}+15^{\circ}\text{C}} = 0,05 \text{ Ом}$
Индуктивность обмотки фазы статора	$L_{\text{дв}} = 60 \text{ мГн}$
Момент инерции	$J_{\text{дв}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$
Номинальный ток	$I_{\text{дв.н}} = 32 \text{ А}$
Номинальный момент двигателя	$M_{\text{дв.н}} = 4 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Рассчитываем параметры электродвигателя.

Номинальная скорость двигателя:

$$\omega_{\text{dv\_nom}} = 1500/9,55 = 157,07 \text{ рад/с}$$

Горячее сопротивление обмотки якоря:

$$R_{\text{dp}} = 0,05 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{dv\_gor}} = 1,2(R_{\text{dp}}) = 1,2 * 0,05 = 0,06 \text{ Ом}$$

Коэффициент ЭДС и электромагнитного момента:

$$c=(U- R_{dv\_gor} * I_{dv\_nom})/\omega_{dv\_nom}=(27-0,06*32)/157,07=0,159 \text{ В*с/рад}$$

Электромагнитный момент:

$$M_{c_{dv}}= M_{dv_q}- M_{dv_{nom}}=5,088-4=1,088$$

Момент трения на валу:

$$M_{dv_q}=c * I_{dv\_nom}=0,159*32=5,088$$

Максимальный ток двигателя:

$$I_{dv\_max}=4 * I_{dv\_nom}=4*32=128$$

Максимальный момент двигателя:

$$M_{dv_{msx}}=c * I_{dv\_max}=0,159*128=20,352$$

### **1.1.2. Расчет параметров силового преобразователя**

Силовой преобразователь – это элемент, при помощи которого оказывается регулирующее воздействие на электропривод. По своему характеру такое воздействие зависит от способа управления движением электропривода, рода тока и от конкретных особенностей преобразователя. В качестве силового преобразователя принимаем преобразователь напряжения. [3].

### **1.1.3. Выбор силовых вентиляей**

Выбор вентиля осуществляется по току и напряжению. Нагрузочная способность вентиляей определяется максимально допустимой температурой полупроводниковой структуры, которая не должна быть превышена в любых режимах работы: длительная работа с номинальным током двигателя; аварийные режимы в течение времени срабатывания защиты; рабочая перегрузка двигателя в течение заданного времени. Нагрев вентиля зависит от величины и формы тока, а также от условий охлаждения. Все это должно быть учтено при правильном выборе вентиля. Для повышения надежности работы преобразователя

рекомендуется устанавливать вентили на типовых охладителях и применять естественное воздушное охлаждение [5].

Последовательность расчета:

1. Для цепи управления ВД относительная длительность включения равна 0.5 ( $\gamma_0=0.5$ ).
2. С учетом  $U_H$  и  $I_{\max}$  выбираем транзистор и диод.

Напряжение, приложенное к коммутирующему транзисторному ключу, определяется как:

$$U_1=U$$

$U=27$  В- напряжение питание электродвигателя;

Номинальный ток коллектора выбираем из условия выдерживания пускового тока

$$I_k \geq I_{\max} = 128 \text{ А}$$

3. По найденным значениям тока и напряжение выбираем транзистор типа 2Т3152 А и диод типа 2Д231А.

4. В современных IGBT транзисторах частоты коммутации находится в пределах от 5000 до 15000 Гц, примем  $f_k = 5000$  Гц. Тогда  $T_{\text{преобр}}$  определяется как

$$T_{\text{преобр}} = \frac{1}{f_k} = \frac{1}{5000} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

Потери в IGBT в проводящем состоянии

$$P_{SS} = I_{cp} \cdot U_{ce(sat)} \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \right) = 53,3 \cdot 1,2 \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{0,95}{3\pi} \right) = 14,445 \text{ Вт},$$

где  $I_{cp} = \frac{I_{\max}}{k_1} = \frac{128}{2,4} = 53,3 \text{ А}$  – максимальная амплитуда тока на входе;

где  $k_1 = 2,4$  – коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току, необходимой для обеспечения динамики ЭП;  $k_2 = 1,1-1,2$  – коэффициент допустимой мгновенной пульсации тока;

$D = \frac{t_p}{T} \approx 0,95$  – максимальная скважность;

$U_{ce(sat)} = 1,2$  В – прямое падение напряжения на IGBT в насыщенном состоянии при  $I_{cp}$  и  $T_j = 125$  °С (типичное значение  $U_{ce(sat)} \approx 0,95-1,5$  В).

Потери IGBT при коммутации

$$P_{SW} = \frac{1}{\pi\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{cp} \cdot U_{cc} \cdot (t_{c.on} + t_{c.off}) \cdot f_k}{2} =$$
$$= \frac{1}{\pi\sqrt{2}} \cdot \frac{53,3 \cdot 36,45 \cdot (0,4 + 0,7) \cdot 10^{-6} \cdot 5000}{2} = 1,2 \text{ Вт},$$

где  $t_{c.on} = 0,4 \cdot 10^{-6}$  с – продолжительность переходных процессов по цепи коллектора IGBT на открывание транзистора;

$t_{c.off} = 0,7 \cdot 10^{-6}$  с – продолжительность переходных процессов по цепи коллектора IGBT на закрывание транзистора (типичное значение  $t_{c(on)} = 0,3-0,4$  мкс;  $t_{c(off)} = 0,6-0,7$  мкс);

$U_{cc} = k_{с.н} \cdot U_{дв.н} = 1,35 \cdot U_{дв.н} = 1,35 \cdot 27 = 36,45$  В – напряжение на коллекторе IGBT, (коммутируемое напряжение, равное напряжению звена постоянного тока для системы ШИП);

$k_{с.н} = 1,35$  – коэффициент схемы для номинальной нагрузки;

Суммарные потери в IGBT

$$P_Q = P_{SS} + P_{SW} = 14,445 + 1,2 = 15,645 \text{ Вт}.$$

Потери обратного диода в проводящем состоянии

$$P_{DS} = I_{ep} \cdot U_{ec} \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \right) = 4,5 \cdot 0,6 \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{0,95}{3\pi} \right) = 0,609 \text{ Вт},$$

где  $I_{ep} \approx I_{cp}$  – максимальная амплитуда тока через обратный диод, А;

$U_{ec} = 0,6$  В – прямое падение напряжения на диоде в проводящем состоянии при  $I_{ep}$ , В.

Потери при восстановлении запирающих свойств обратного диода

$$P_{DR} = \frac{1}{8} \cdot I_{ep} \cdot U_{cc} \cdot t_{rr} \cdot f_k = \frac{1}{8} \cdot 4,5 \cdot 36,45 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 5000 = 0,0205 \text{ Вт},$$

где  $I_{rr}$  – амплитуда обратного тока через диод, А ( $I_{rr} \approx I_{cp}$ );  $t_{rr}$  – продолжительность импульса обратного тока, с (типичное значение 0,2 мкс), принимаем  $t_{rr} = 0,2$  мкс.

Суммарные потери обратного диода

$$P_D = P_{DS} + P_{DR} = 0,609 + 0,0205 = 0,63 \text{ Вт}.$$

Результирующие потери IGBT с обратным диодом

$$P_T = P_Q + P_D = 15,645 + 0,63 = 16,275 \text{ Вт}.$$

Найденные результирующие потери являются основой для теплового расчета инвертора, в ходе которого определяются тип и геометрические размеры необходимого охладителя, а также проверяется тепловой режим работы кристаллов IGBT и обратного диода.

#### 1.1.4. Определение параметров силовой цепи

Сопротивления якорной цепи:

$$R_{яц} = R_{\text{дв.зоп}} = 0,06 \text{ Ом}$$

Индуктивность якорной цепи:

$$L_{яц} = L_{\text{дв}} + 0,2 \cdot L_{\text{дв}} \quad L_{яц} = 60 \cdot 10^{-3} + 0,2 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 72 \cdot 10^{-3}$$

Коэффициент усиления преобразователя:

$$K_{\text{ум}} = \frac{U_{\text{num}}}{U_{\text{y.max}}} = \frac{27}{10} = 2,7$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи привода:

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{72 \cdot 10^{-3}}{0,06} = 1,2 \text{ с}$$

### 1.1.5 Структурная схема силового канала ЭП

Рассчитываем коэффициенты обратных связей по току ( $k_T$ ) и скорости ( $k_c$ ):

$$K_T = \frac{U_{y.\max}}{I_{\max}} = \frac{10}{128} = 0,078$$

$$K_c = \frac{U_{y.\max}}{\omega_{об}} = \frac{10}{157,07} = 0,064$$

## 1.2. Моделирование

### 1.2.1. Математическое описание вентильного двигателя

Вентильный двигатель представляет собой синхронный двигатель с обратной связью по положению (рис. 1), который реализован с помощью датчика положения ротора (ДПР), преобразователя координат (ПК) и силового полупроводникового преобразователя (СПП). [7]

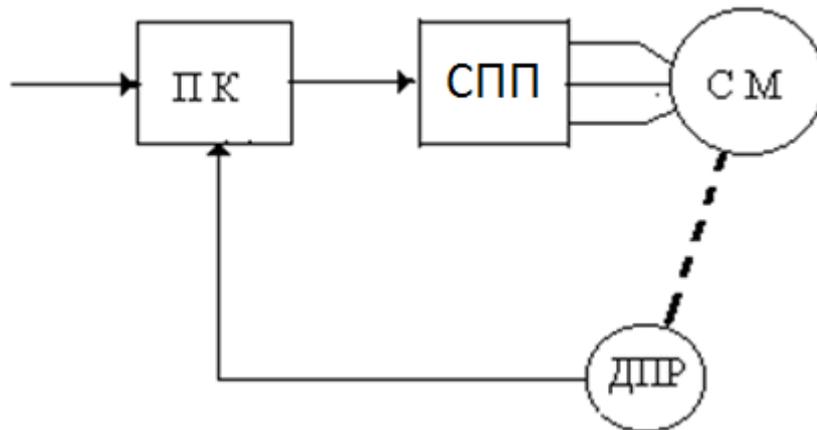


Рис. 1.1 Функциональная схема БМПП и ВД

В случае БМПП на обмотки двигателя подается импульсное напряжение, а в вентильном двигателе на выходе СПП формируется квазисинусоидальное или синусоидальное напряжение.

На рис. 1.2 показан принцип управления ВД. Датчик ДПР, силовой полупроводниковый преобразователь (СПП) и преобразователь координат (ПК) формируют на статорных обмотках двигателя напряжения  $u_A, u_B, u_C$  так, чтобы результирующий вектор напряжений  $\bar{U}_s$  был сдвинут всегда на угол  $\theta$  и не двигался относительно оси магнитного поля ротора ВД. [9]



Переходя от уравнений в мгновенных значениях к уравнениям пространственных векторов, получаем:

$$\left. \begin{aligned} \vec{u}_s &= R_s \cdot \vec{i}_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} \\ \vec{\psi}_s &= L_s \cdot \vec{i}_s + \vec{\Phi}_0 \cdot e^{j\omega t} = L_s \cdot \vec{i}_s + \vec{\Phi}_0 \end{aligned} \right\} (2)$$

где  $L_s$  – индуктивность статора,  $\vec{\psi}_s$  – потокосцепление обмоток статора в неподвижной системе координат.

Электромагнитный момент ВД находится по уравнению:

$$M = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \text{mod}(\vec{\psi}_s \times \vec{i}_s) = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \text{mod}(\vec{\Phi}_0 \times \vec{i}_s) (3)$$

Уравнение механического равновесия запишется в классическом виде:

$$J \cdot \frac{d\omega_m}{dt} = M - M_n (4)$$

где  $\omega_m = \frac{\omega}{p}$ ,  $p$  – число пар полюсов.

### 1.2.2. Модель ВД в неподвижной системе координат

Уравнения ВД в неподвижной системе координат получаются на

основании уравнений (1 – 4) при  $\frac{d\vec{\Phi}_0}{dt} = 0$  :

$$\left. \begin{aligned} \vec{u}_s &= R_s \cdot \vec{i}_s + L_s \cdot \frac{d\vec{i}_s}{dt} + j \cdot \omega \cdot \vec{\Phi}_0 \\ M &= \frac{3}{2} \cdot p \cdot \text{mod}(\vec{\Phi}_0 \times \vec{i}_s) \\ J \cdot \frac{d\omega_m}{dt} &= M - M_n \end{aligned} \right\} (5)$$

Распишем систему уравнений (5) в неподвижных осях.

$$\left. \begin{aligned} u_{s\alpha} &= R_s \cdot i_{s\alpha} + L_s \cdot \frac{di_{s\alpha}}{dt} - \omega \cdot \Phi_{0\beta} \\ u_{s\beta} &= R_s \cdot i_{s\beta} + L_s \cdot \frac{di_{s\beta}}{dt} - \omega \cdot \Phi_{0\alpha} \\ M &= \frac{3}{2} \cdot p \cdot (\Phi_{0\alpha} \cdot i_{s\beta} - \Phi_{0\beta} \cdot i_{s\alpha}) \\ J \cdot \frac{d\omega_m}{dt} &= M - M_n \end{aligned} \right\} (6)$$

В системе (6) проекции потоков и напряжений на неподвижные оси  $\alpha, \beta$  взаимозависимы за счёт работы датчика ДПР. В реверсивных электроприводах для максимизации момента ДПР устанавливают так, чтобы вектор напряжения был сдвинут на 90 эл. градусов по отношению вектора потока ротора. При этом проекции векторов  $\vec{i}_s, \vec{\Phi}_0$  на оси  $\alpha, \beta$  могут быть выражаться в виде:

$$\left. \begin{aligned} \Phi_{0\alpha} &= \Phi_0 \cdot \cos \omega t, \quad \Phi_{0\beta} = \Phi_0 \cdot \sin \omega t \\ u_{s\alpha} &= U_m \cdot \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}), \quad u_{s\beta} = U_m \cdot \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \end{aligned} \right\} (7)$$

Для удобства анализа все величины выразим в относительных единицах.

За базовые принимаем:

$$U_b = \sqrt{2} \cdot U_\phi = U_m, \quad I_b = \frac{U_b}{R_s}, \quad \omega_b = \frac{U_b}{\Phi_0} = p \cdot \omega_{m0}, \quad M_b = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Phi_0 \cdot I_b$$

где  $U_\phi$  - фазное напряжение двигателя;  $R_s$  - фазное сопротивление двигателя;  $p$  - число пар полюсов ВД;  $\Phi_0$  - магнитный роторный поток;  $\omega_{m0}$  - скорость вращения идеального холостого хода. [11]

Система (6) в относительных единицах с учётом системы (7) запишется в виде:

$$\left. \begin{aligned} \cos(\bar{\omega}\bar{t} + \frac{\pi}{2}) &= \bar{i}_{s\beta} + \bar{T}_s \cdot \frac{d\bar{i}_{s\alpha}}{d\bar{t}} - \bar{\omega} \cdot \sin \bar{\omega}\bar{t} \\ \sin(\bar{\omega}\bar{t} + \frac{\pi}{2}) &= \bar{i}_{s\alpha} + \bar{T}_s \cdot \frac{d\bar{i}_{s\beta}}{d\bar{t}} + \bar{\omega} \cdot \cos \bar{\omega}\bar{t} \\ \bar{m} &= (i_{s\beta} \cdot \cos \omega t - i_{s\alpha} \cdot \sin \omega t) \\ \bar{T}_m \cdot \frac{d\bar{\omega}_m}{d\bar{t}} &= \bar{m} - \bar{m}_n \end{aligned} \right\} (8)$$

где переменные и параметры в относительных единицах определяются по выражениям:

$$\bar{u} = \frac{\vec{u}}{U_b}, \quad \bar{i} = \frac{\vec{i}}{I_b}, \quad \bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_b}, \quad \bar{m} = \frac{M}{M_b}, \quad \bar{T}_s = \frac{\omega_b \cdot L_s}{R_s}, \quad \bar{T}_m = \frac{J \cdot \omega_b^2}{M_b}, \quad \bar{t} = \omega_b \cdot t$$

### 1.2.3. Расчёт переменных и параметров в относительных единицах для ДБМ150-4-1,5-3

Базовые значения величин находим из зависимостей:

$$U_b = \sqrt{2} \cdot U_\phi = \sqrt{2} \cdot I_\kappa \cdot R_s = \sqrt{2} \cdot 340 \cdot 0,05 = 24,04 \text{ В}$$

$$I_b = \frac{U_b}{R_s} = \frac{24,04}{0,05} = 480,83 \text{ А}$$

$$\omega_b = p \cdot \omega_{m0} = 8 \cdot 183,166 = 1465,3331 / \text{с}$$

$$\Phi_0 = \frac{U_b}{\omega_b} = \frac{24,04}{1465,333} = 0,0164 \text{ Вб}$$

$$M_b = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Phi_0 \cdot I_b = \frac{3}{2} \cdot 8 \cdot 0,0164 \cdot 480,83 = 94,627 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Относительные постоянные времени электропривода:

$$\bar{T}_s = \frac{\omega_b \cdot L_s}{R_s} = 1465,333 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} = 1,758c$$

$$\bar{T}_m = \frac{J \cdot \omega_b^2}{M_b} = \frac{3 \cdot 10^{-3} \cdot (1465,333)^2}{94,627} = 16,836c$$

Модель ВД, составленная согласно уравнению (8) в пакете MATLAB R2013a, показана на рис. 1.4. Моделирование проводилось для ДБМ150-4-1.5-3. Параметры исследуемого двигателя представлены в *Приложении 1*.

Базовые значения и параметры ВД в относительных единицах показаны в таблице 1.

Таблица 1.2.

Базовые значения	$U_b$	$I_b(A)$	$\omega_b (1/c)$	$M_b(НМ)$
	25,38	437,6	1272	105
Параметры ВД в о.е.	$\bar{T}_s$	$\bar{T}_m$		
	1,52	11,43		

Моделирование проводим на примере двигателя ДБМ150-4-1,5-3. Параметры этого двигателя показаны в приложении 1, а результаты моделирования - на рис. 1.5.

Блок Step задает ступенчатый входной сигнал, равный единице. По результатам моделирования видно, что в динамике ВД близок к двигателю постоянного тока (ДПТ).

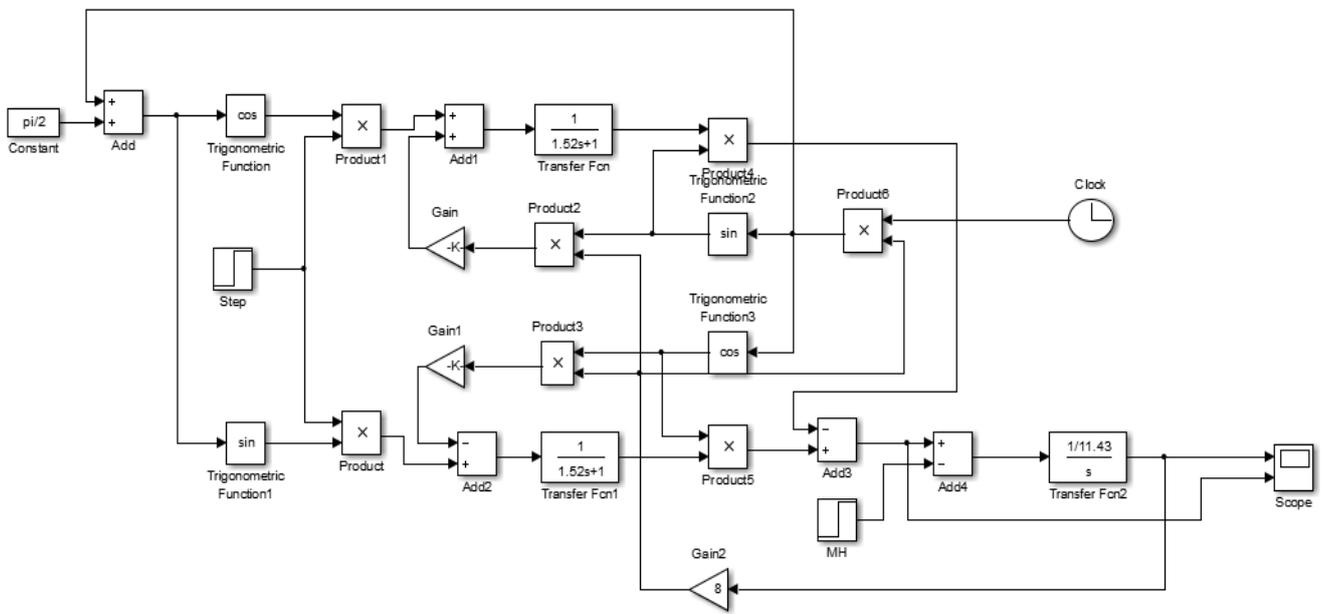


Рис. 1.3. Имитационная модель ВД в системе координат  $\alpha, \beta$

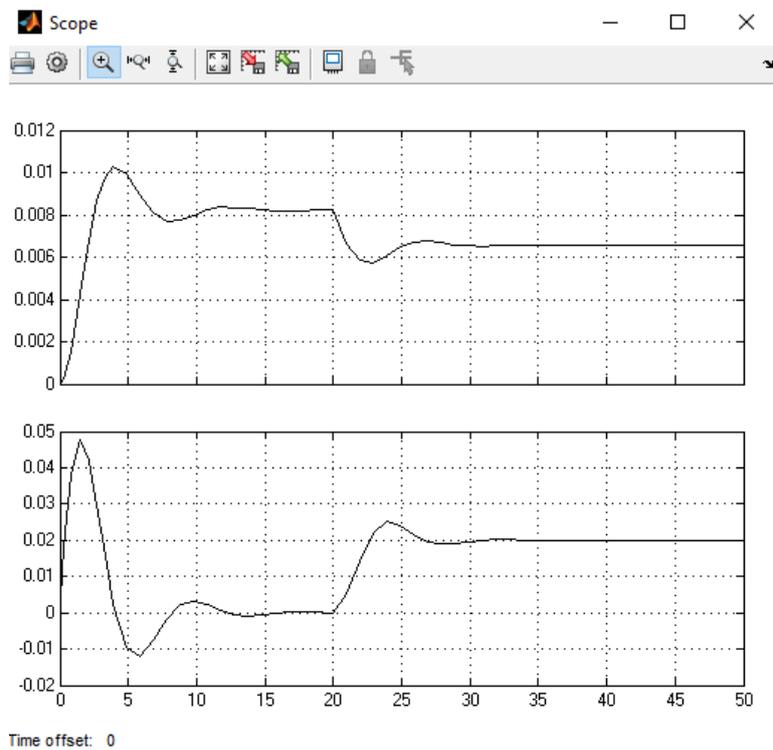


Рис. 1.4. Переходные процессы по скорости и моменту в ВД

### 1.2.4. Имитационная модель ВД во вращающейся системе координат

При анализе ВД применяется система координат, вращающаяся с ротором.

Связь вращающейся и неподвижной систем координат представлена следующими формулами:

$$\vec{i}_{S.Bp} = \vec{i}_{S.H} \cdot e^{-j\omega t}, \quad i_d = i_{S\alpha} \cdot \cos \omega t + i_{S\beta} \cdot \sin \omega t, \quad i_q = i_{S\beta} \cdot \cos \omega t - i_{S\alpha} \cdot \sin \omega t \quad (9)$$

$$\vec{i}_{S.H} = \vec{i}_{S.Bp} \cdot e^{j\omega t}, \quad i_{S\alpha} = i_d \cdot \cos \omega t - i_q \cdot \sin \omega t, \quad i_{S\beta} = i_q \cdot \cos \omega t + i_d \cdot \sin \omega t$$

Переходя к вращающимся координатам d-q, 1-ое уравнение системы 5 (уравнение эл. равновесия) преобразуется в виде:

$$\vec{u}_S = R_S \cdot \vec{i}_S + L_S \cdot \frac{d\vec{i}_S}{dt} + j \cdot \omega \cdot L_S \cdot \vec{i}_S + j \cdot \omega \cdot \vec{\Phi}_0 \quad (10)$$

При разложении результирующих вектора напряжения по осям d и q, получим скалярное описание ВД. При всем этом ось d совмещается с осью роторного потока (рис. 2).

$$\left. \begin{aligned} u_d &= R_S \cdot i_d + L_S \cdot \frac{di_d}{dt} - \omega \cdot L_S \cdot i_q \\ u_q &= R_S \cdot i_q + L_S \cdot \frac{di_q}{dt} + \omega \cdot L_S \cdot i_d + \omega \cdot \Phi_0 \\ M &= \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Phi_0 \cdot i_q \\ J \cdot \frac{d\omega_m}{dt} &= M - M_n \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где

$$\bar{u}_s = u_d + j \cdot u_q, \quad \bar{i}_s = i_d + j \cdot i_q, \quad \bar{\Phi}_0 = \Phi_0.$$

Для удобства анализа снова используем переменные в относительных единицах. За базовые принимаются следующие величины:

$$U_b = \sqrt{2} \cdot U_\phi, \quad I_b = \frac{U_b}{R_s}, \quad \omega_b = \frac{U_b}{\Phi_0}, \quad M_b = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Phi_0 \cdot I_b$$

В относительных единицах система (11) будет представлена следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \bar{u}_d &= \bar{i}_d + \bar{T}_s \cdot \frac{d\bar{i}_d}{dt} - \bar{\omega} \cdot \bar{T}_s \cdot \bar{i}_q \\ \bar{u}_q &= \bar{i}_q + \bar{T}_s \cdot \frac{d\bar{i}_q}{dt} + \bar{\omega} \cdot \bar{T}_s \cdot \bar{i}_d + \bar{\omega} \\ \bar{T}_m \cdot \frac{d\bar{\omega}_m}{dt} &= \bar{m} - \bar{m}_n, \quad \bar{m} = \bar{i}_q \end{aligned} \right\} (12)$$

где переменные в о.е. будут определены по выражениям:

$$\bar{u} = \frac{\bar{u}}{U_b}, \quad \bar{i} = \frac{\bar{i}}{I_b}, \quad \bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_b}, \quad \bar{m} = \frac{M}{M_b}, \quad \bar{T}_s = \frac{\omega_b \cdot L_s}{R_s}, \quad \bar{T}_m = \frac{J \cdot \omega_b^2}{M_b}, \quad \bar{t} = \omega_b \cdot t.$$

Модель вентильного двигателя ДБМ150-4-1,5-3 в системе координат d-q, которая построена по системе уравнений (12) и собрана в пакете MATLAB R2013a имеет вид, представленный на рис. 5.

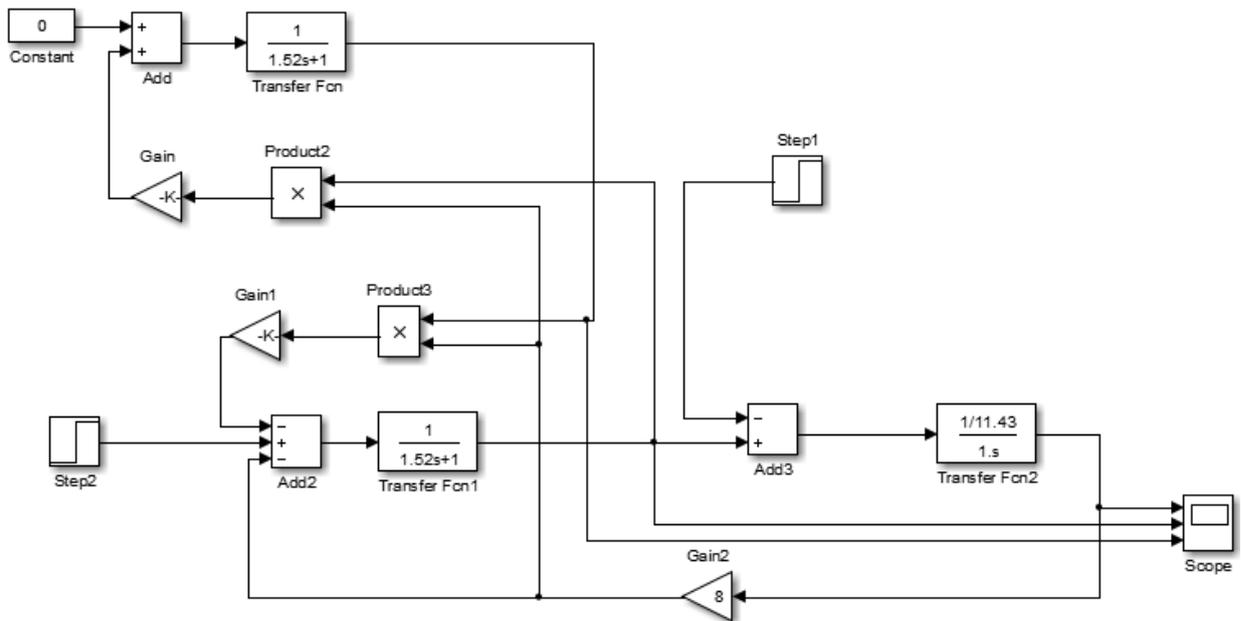


Рис. 1.5. Модель вентильного двигателя во системе координат d-q

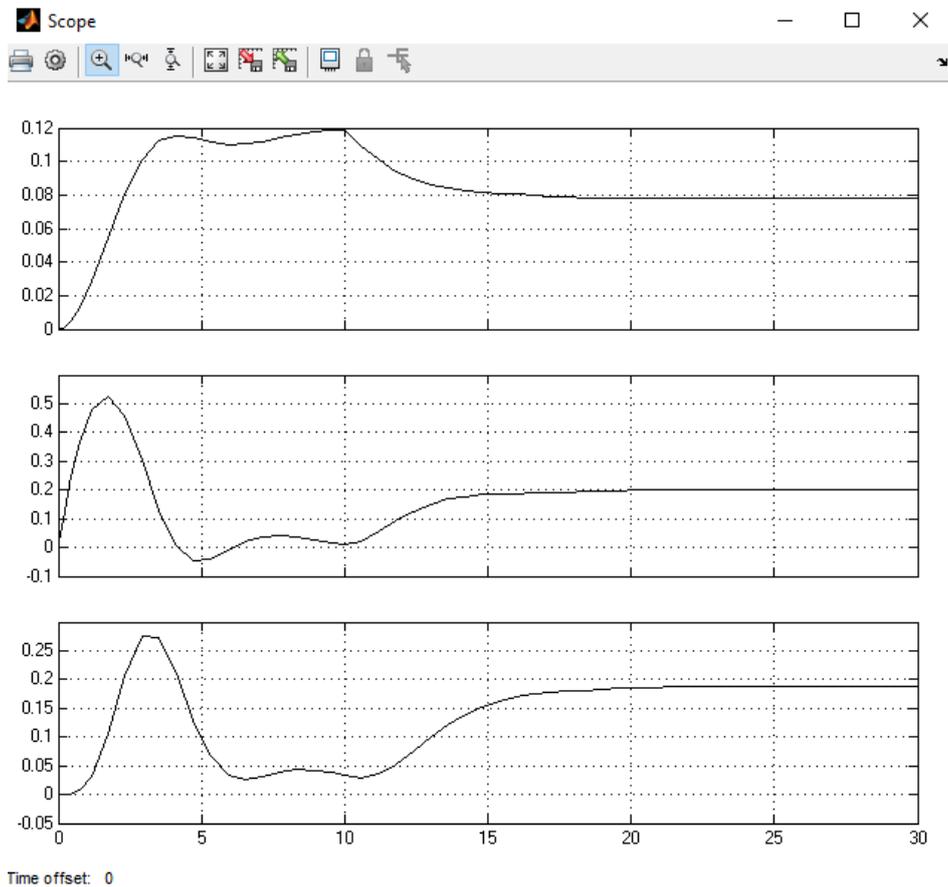


Рис. 1.6. Переходные процессы  $\omega=f(t)$ ,  $M=f(t)$  и  $i_d=f(t)$  в ВД

Переходные процессы в ВД по моменту и скорости практически совпадают с результатами моделирования в системе координат  $\alpha$ - $\beta$ . На рис. 6 показан переходный процесс по току  $\bar{i}_d$ . Особенность переходных процессов в ВД в

динамических и статических режимах работы – это наличие динамики изменения этого тока.

Ток  $\bar{i}_d$  является током по продольной оси d, он не создаёт момента М, но серьезно влияет на магнитный поток и следовательно на скорость, а значит и на суммарный ток потребления ВД.

Если сравнить ВД с ДПТ, то особенностью ВД является ухудшение регулировочных, механических и энергетических характеристик в статическом режиме. В динамических режимах результаты моделирования ВД практически аналогичны результатам ДПТ.

### 1.2.5. Электропривод с ВД

При синтезе регуляторов в системе подчиненного регулирования электропривода с ВД сначала производим оптимизацию внутреннего токового контура с постоянной времени  $\bar{T}_s$ . При построении системы управления электропривода на базе ВД главным требованием является наличие замкнутых контуров регулирования токов  $\bar{i}_d$ ,  $\bar{i}_q$ . Это позволяет поддерживать в динамических и статических режимах  $\bar{i}_d = 0$  и, следовательно, улучшить энергетические характеристики электропривода. [13]

Модель электропривода, в основе которой применена уже построенная нами математическая модель ВД, представлена на рис. 1.7. Результаты моделирования для двигателя ДБМ150-4-1,5-3 показаны на рис. 1.8.

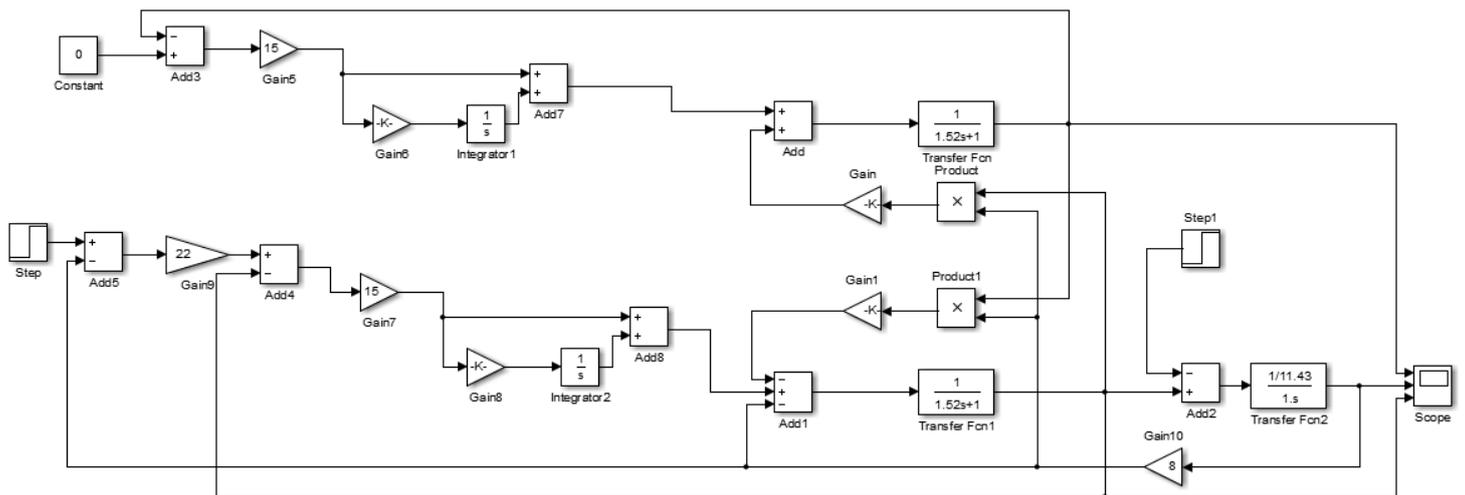


Рис. 1.7. Имитационная модель замкнутого электропривода с ВД

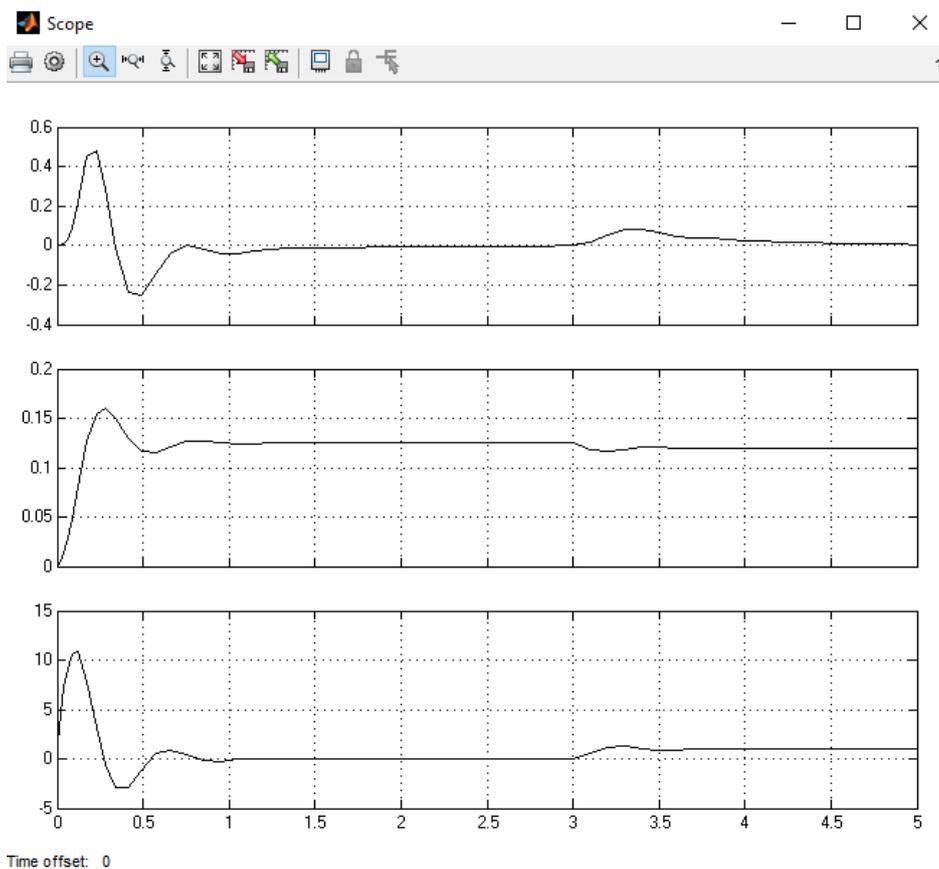


Рис. 1.8. Переходные процессы  $i_d = f(t)$ ,  $\omega = f(t)$  и  $M = f(t)$  в электроприводе для двигателя ДБМ150-4-1,5-3 при моделировании цикла работы «Пуск-наброс нагрузки»

Линеаризованная система хороша тем, что быстрее происходят переходные процессы по току и скорости, однако  $I_q$  достигает значение 11 относительных единиц ( $I_H \cdot 11$ ), т.е. такой максимальный ток приведет к

перегоранию обмотки. Поэтому для ограничения тока введем звено saturation на выходе регулятора скорости, т.е. задание на  $I_q$  в  $1,5 \cdot I_H$ .

### 1.3. Исследование различных циклов работы

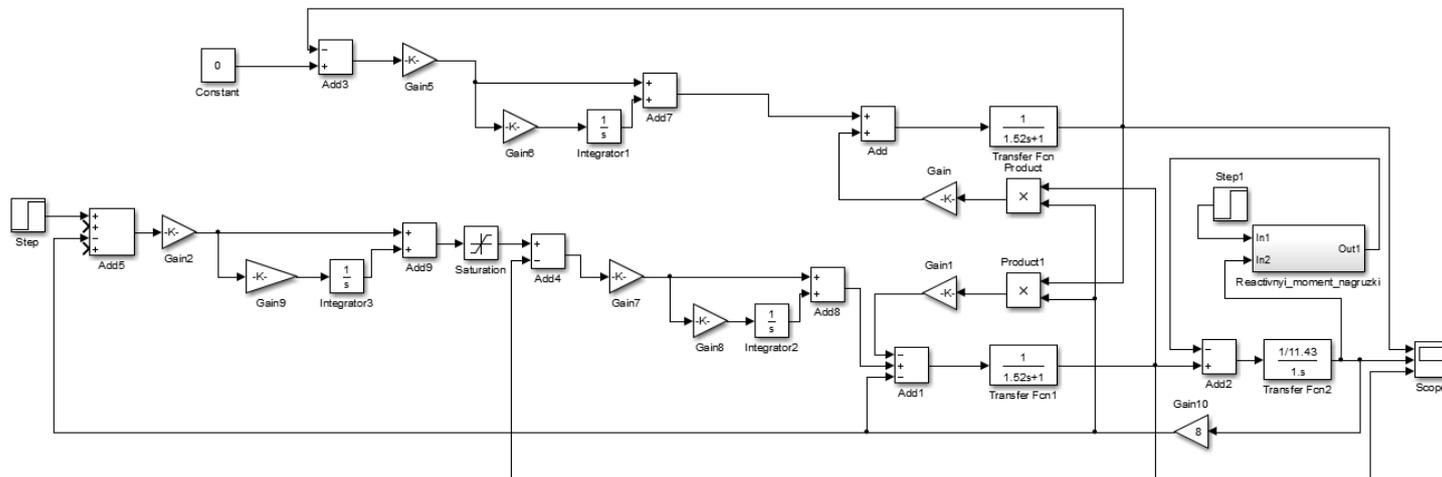


Рис. 1.9. Имитационная модель электропривода при моделировании цикла работы «Пуск-наброс нагрузки»

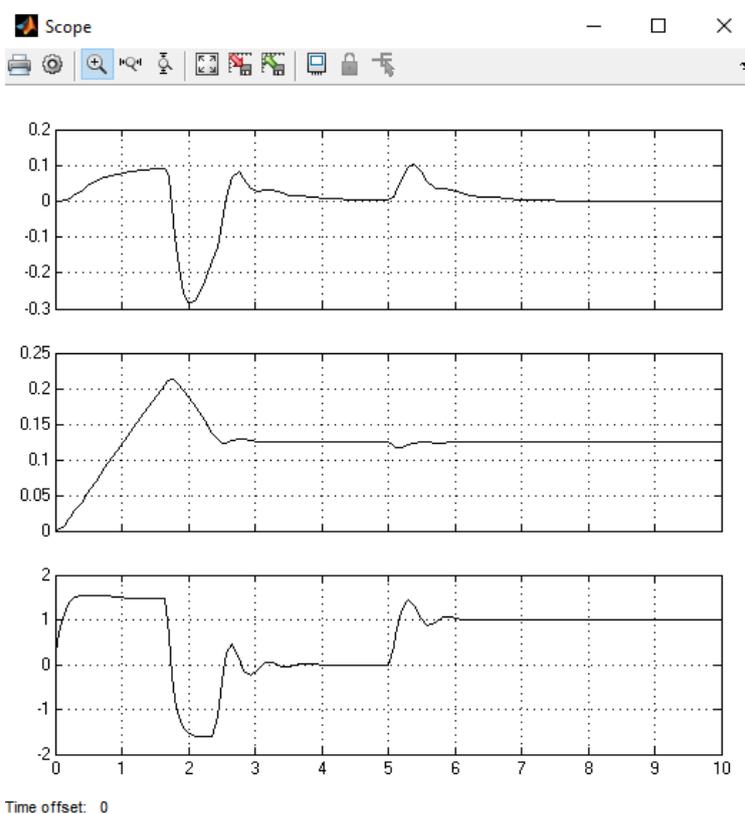


Рис. 1.10. Динамические характеристики электропривода  $I_d=f(t)$ ,  $\omega=f(t)$ ,  $M=f(t)$  при моделировании цикла работы «Пуск-наброс нагрузки»

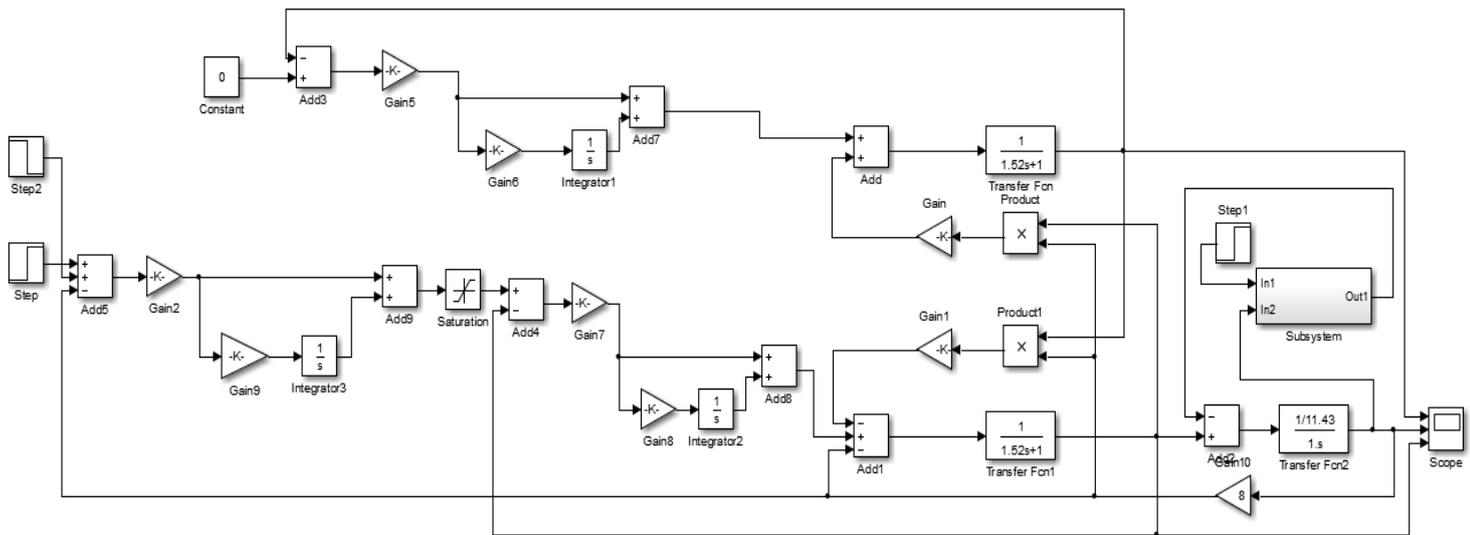


Рис. 1.11. Имитационная модель электропривода при моделировании цикла работы «Пуск-наброс нагрузки-реверс»

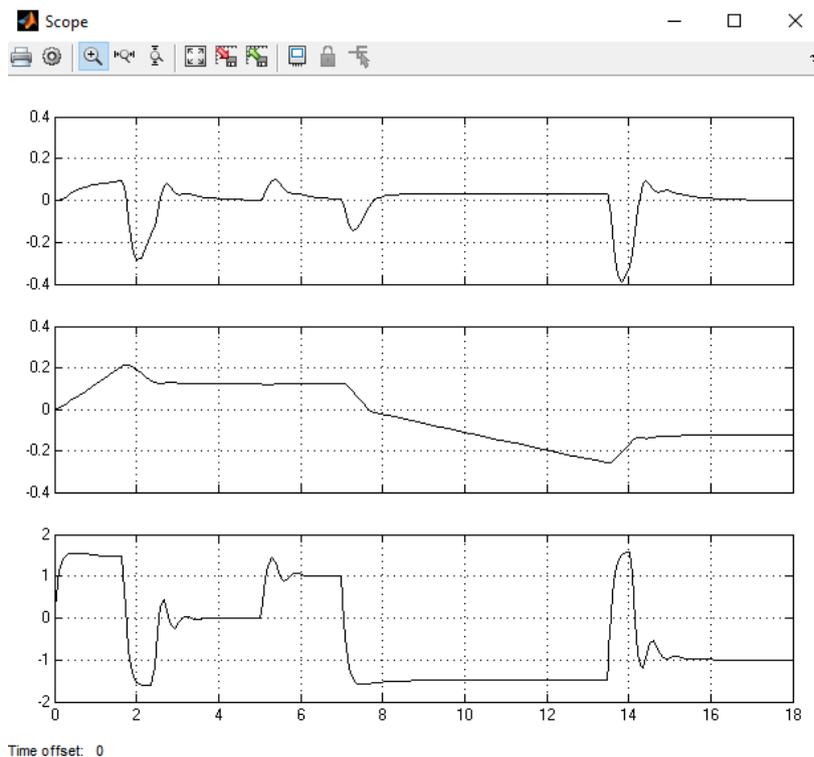


Рис. 1.12. Динамические характеристики электропривода  $I_d=f(t)$ ,  $\omega=f(t)$ ,  $M=f(t)$  при моделировании цикла работы «Пуск-наброс нагрузки-реверс»

Введение блока насыщения привело к ограничению тока  $I_d$  при пуске на значении  $1,5 I_n$ , что увеличило время переходного процесса до 1,2 о.е.

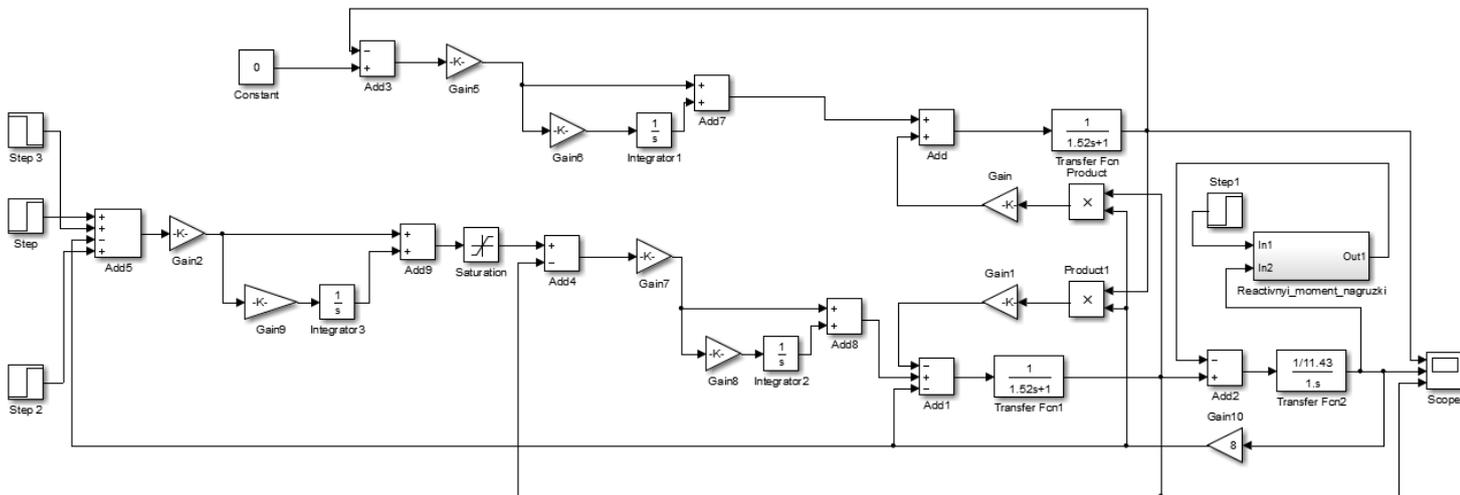


Рис. 1.13. Имитационная модель электропривода при моделировании цикла работы «Пуск-наброс нагрузки-реверс-останов»

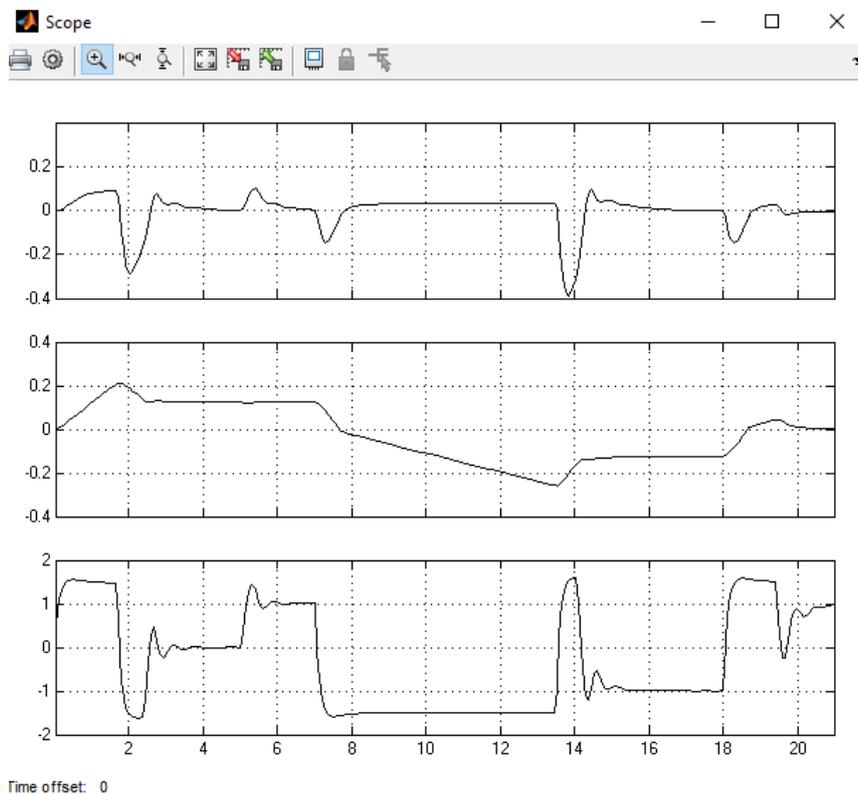


Рис. 1.14. Динамические характеристики электропривода  $I_d=f(t)$ ,  $\omega=f(t)$ ,  $M=f(t)$  при моделировании цикла работы «Пуск-наброс нагрузки-реверс-останов»

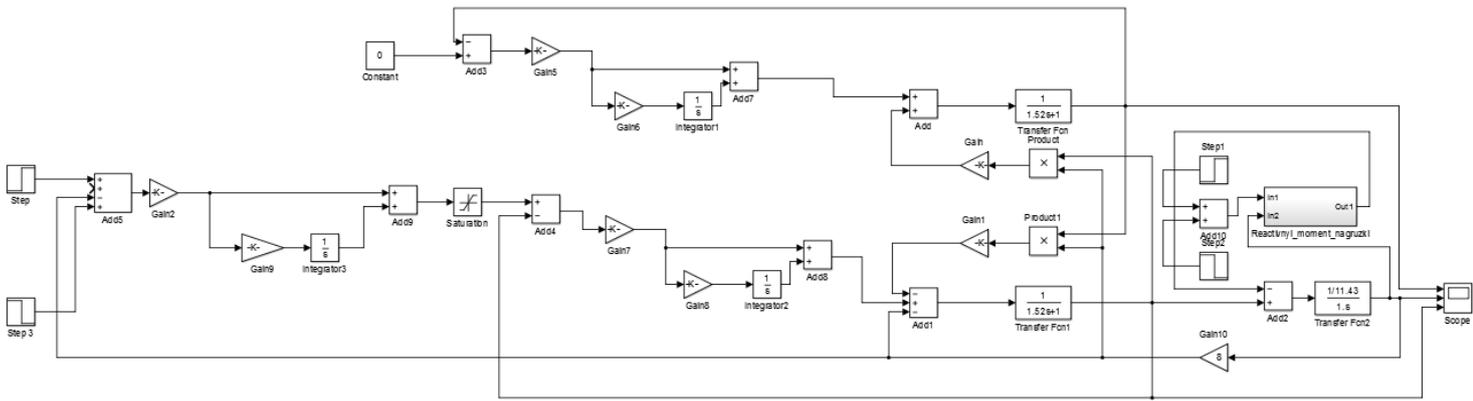


Рис. 1.15. Имитационная модель электропривода при моделировании цикла работы «Пуск-наброс нагрузки-сброс-останов»

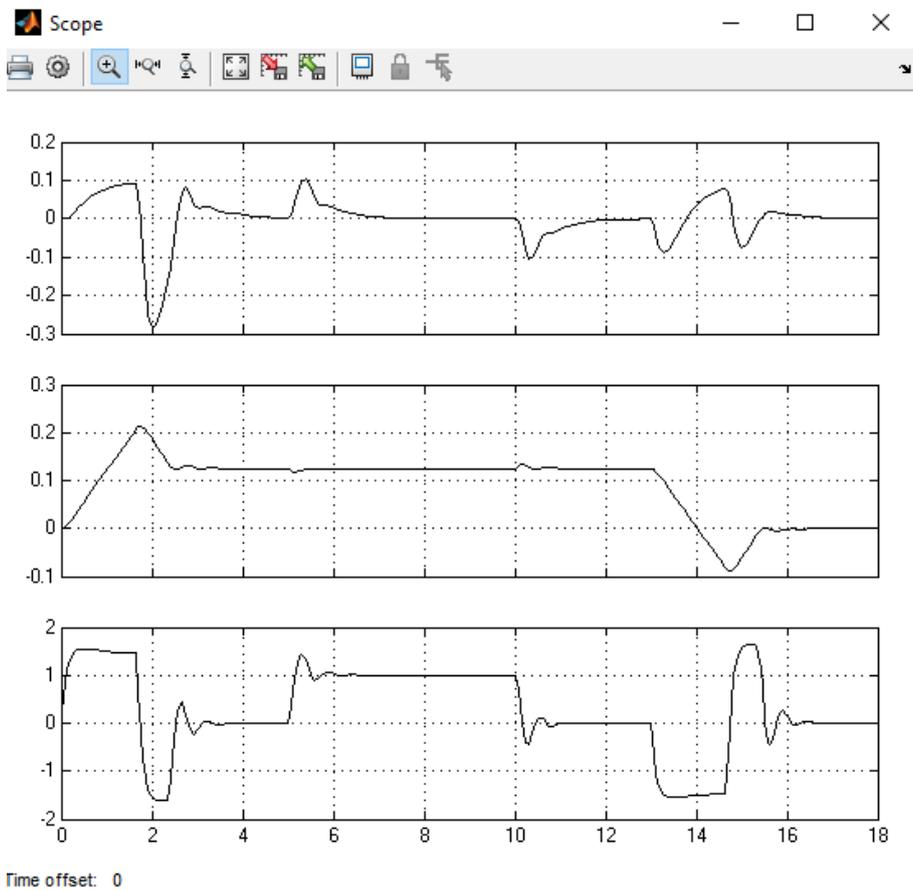


Рис. 1.16. Динамические характеристики электропривода  $I_d=f(t)$ ,  $\omega=f(t)$ ,  $M=f(t)$  при моделировании цикла работы «Пуск-наброс нагрузки-сброс-останов»

## **2. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

### **Введение**

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных лабораторных стендов, технологий, отвечающих современным требованиям.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

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

### **2.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### *2.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования*

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

В данном случае сегментирования целесообразно провести по виду исполнения лабораторного стенда (компьютерного исполнения, ручного исполнения, комбинированного исполнения). [18]

А также следует выделить сегменты рынка:

- по разработке, проектированию и производству;
- по сборке и установке;
- по дальнейшему обслуживанию и ремонту.

Исходя из сегмента рынка, будет произведено сегментирование коммерческих организаций по отраслям. Сегментирование приведено на рисунке 2.1.

	Компьютерное исполнение	Ручное исполнение	Комбинированное исполнение
Проектирование и производство			
Сборка и установка			
Обслуживание и ремонт			

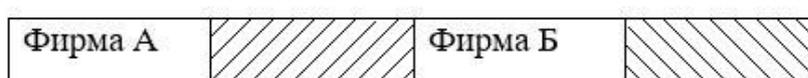


Рисунок 2.1- Карта сегментирования рынка разработок для систем вентиляции

Результаты сегментирования:

Основными сегментами рынка являются все виды исполнения лабораторных стандов, а также проектирование и производство устройств для всех типов лабораторных стандов;

Наиболее сильно предприятие должно быть ориентировано на сегменты рынка связанные с обслуживанием и ремонтом стандов с компьютерным исполнением;

Наиболее привлекательными сегментами рынка являются отрасли, связанные с обслуживанием и ремонтом стандов с комбинированным исполнением;

### 2.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Анализ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения приведен в таблице 1.

Таблица 2.1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных тех разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность			
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Повышение производительности работы	0.05	2	2	2	0.05	0.05	0.05
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.1	4	4	3	0.4	0.4	0.4
Уровень шума	0.075	4	4	4	0.225	0.225	0.225
Надежность	0.05	4	3	3	0.2	0.2	0.2
Безопасность	0.1	4	3	4	0.3	0.3	0.3
Функциональные возможности	0.125	5	3	3	0.5	0.3	0.3
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
Конкурентоспособность продукта	0.1	4	2	3	0.5	0.3	0.3
Уровень проникновения на рынок	0.05	4	2	2	0.25	0.1	0.1
Цена	0.075	3	3	3	0.225	0.225	0.225
Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	4	3	5	0.4	0.3	0.3
Финансирование научной разработки	0.05	2	4	4	0.1	0.05	0.05
Наличие сертификации разработки	0.05	3	2	3	0.25	0.05	0.05
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>43</b>	<b>35</b>	<b>39</b>	<b>3.4</b>	<b>2.7</b>	<b>2.9</b>

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 2.1, подобраны, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. [19]

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

*Итог анализа:*

Уязвимость позиции конкурентов обусловлена тем, что у них не занимают сборкой и обслуживанием комбинированных лабораторных стендов, и обслуживанием компьютерных стендов.

Данный анализ показывает, что продукт конкурентоспособен, и он может заинтересовать инвесторов и способен к увеличению своих функциональных возможностей. Также большую долю рынка занимают клиенты, заинтересованные в установке и обслуживании как компьютерных стендов, так и комбинированных, что не смогут обеспечить другие компании.

## **2.2. Технология QuaD**

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценку проводим в табличной форме (таблица 2).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по сто балльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 2- Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)	П <sub>ср</sub>
1	2	3	4	5	6	
<b>Показатели оценки качества разработки</b>						
Надежность	0.05	75	100	0.75	52.5	2.125
Унифицированность	0.05	80	100	0.6	60	3.2
Уровень материалоемкости разработки	0.05	50	100	0.5	30	1.25
Уровень шума	0.075	60	100	0.6	35	2.7
Безопасность	0.15	70	100	0.7	40	2.45
Функциональные возможности	0.15	95	100	0.95	90.25	13.8
Ремонтопригодность	0.1	60	100	0.6	36	6.9
Доступность	0.05	85	100	0.85	72.25	3.675
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>						
Конкурентоспособность продукта	0.05	95	100	0.95	90.25	8.576
Уровень проникновения на рынок	0.075	95	100	0.95	90.25	7.67
Перспективность рынка	0.05	90	100	0.9	81	6.05
Цена	0.05	80	100	0.6	20	1.25
Финансовая эффективность научной разработки	0.075	70	100	0.7	40	3.75
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>1005</b>	<b>1300</b>	<b>9.65</b>	<b>647.25</b>	<b>71.4</b>

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{ср} = \sum B_i \cdot B_i =, \quad (2)$$

где  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

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

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Значение  $P_{cp}$  позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Значение показателя  $P_{cp}$  получилось 71.4 – то перспективность выше средней.

Разработка лабораторных стендов, кажется довольно перспективной и получила результат выше средней перспективности, но большего распространения необходимо сделать некие маркетинговые ходы, поскольку не многие знают о подобных разработках.

### **2.3. SWOT-анализ**

**SWOT** – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов. [21]

**Второй этап** состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в табл. 2.4.

**Первый этап** составление предварительной SWOT-матрицы.

Таблица 2.3-Матрица SWOT

	<p align="center"><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Функциональные возможности</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Простота в управлении</p> <p>С4. Доступность материалов</p> <p>С5. Шум при работе</p>	<p align="center"><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Сложная система.</p> <p>Сл2. Цена.</p> <p>Сл3. Неосведомленность клиентов</p>
<p align="center"><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Внедрение в данной разработки в производственные цеха.</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Появление более дешевых материалов.</p> <p>В4. Дальнейшее улучшение надежности</p>		
<p align="center"><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Появление у конкурентов, возможности сборки и обслуживание лабораторных стендов.</p> <p>У2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p>		

Таблица 2.4-Интерактивная матрица проекта С-В

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	+	+	+	-
	В2	+	+	+	0	0
	В3	-	-	+	+	0
	В4	0	0	+	0	+

Таблица 2.5-Интерактивная матрица проекта С-У

Сильные стороны проекта						
Угрозы		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	+	+	+	+	-
	У2	-	-	-	+	-

Таблица 2.6-Интерактивная матрица проекта Сл-В

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	+	-	+	-	+
	В2	+	+	+	+	0
	В3	0	0	-	+	0
	В4	0	0	-	0	+

Таблица 2.7-Интерактивная матрица проекта Сл-У

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	+
	У2	-	+	+

В рамках **третьего этапа** должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приведена в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Итоговая матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>                      С1. Разработка позволит сэкономить большое количество ресурсов                      С2. Экологичность технологии.                      С3. Простота в управлении                      С4. Доступность материалов                      С5. Имеются опытные образцы</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>                      Сл1. Сложная система.                      Сл2. Цена.                      Сл3. Неосведомленность клиентов.</p>
<p><b>Возможности:</b>                      В1. Внедрение в данной разработки в производственные цеха.                      В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт                      В3. Появление более дешевых материалов.                      В4. Дальнейшее улучшение надежности</p>	<p>C1B1B2                      C2B1B2                      C3B1B2B3B4                      C4B1B3                      C5B4</p>	<p>Сл1B1B2                      Сл2B2                      Сл3B1B2</p>
<p><b>Угрозы:</b>                      У1. Появление у конкурентов, возможности сборки и обслуживание лабораторных стендов.                      У2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p>	<p>C1Y1                      C2Y1                      C3Y1                      C4Y1Y2</p>	<p>Сл1Y1                      Сл2Y1Y2Y3                      Сл3Y1Y2Y4</p>

Из данного анализа можно сделать вывод о том, что данная система является довольно перспективной, так как является очень простой в управлении, а также высокофункциональной. Среди недостатков следует выделить проблемы с материалами, а также возможность заполнения ниш потенциальными конкурентами, так как данное направление в настоящее время активно развивается.

## **2.4. Планирование научно-исследовательских работ**

### **2.4.1. Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

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

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 2.9.

Таблица 2.9

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
Обобщение и оценка результатов	3	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер совместно с научным руководителем
Оформление отчета по техническому проектированию	4	Составление пояснительной записки	Научный руководитель
	5	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель

#### 2.4.2. Определение трудоемкости выполнения технического проекта

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. [22]

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5}$$

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

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

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

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

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}$$

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

$t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

### 2.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

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

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

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 2.10.

На основе таблицы 2.10 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 2.10

Название работы	Трудоёмкость работ						Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$		
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожг}$ , чел-дни			Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер	
	Науч. рук-ль	Инженер	Науч.	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер						
Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	1	-	1,4	-	1,7	
Подбор и изучение материалов по теме	-	3	-	6		4,2	1	1	-	4,2		5,12
Проектирование системы внутризаводского электроснабжения	2	15	4	25	2,8	19	1	1	2,8	19	3,41	23,18
Проектирование системы внутрицехового электроснабжения	2	15	4	25	2,8	19	1	1	2,8	19	3,41	23,18
Проведение графических построений и обоснований	1	10	2	14	1,4	10,8	1	1	1,4	10,8	1,7	13,17
Оценка эффективности полученных результатов	2	5	4	7	2,8	5,8	1	1	2,8	5,8	3,4	7,07
Составление пояснительной записки	-	6		10		7,6		1		7,6		9,27
Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	3		5		3,8		1		3,8		4,6	
Итого												99,21

Итого дней

длительность

работ

-

100

календарных

Календарный план-график проведения НИОКР приведен в таблице 2.11.

Таблица 2.11

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к<sub>ж</sub></sub> , кал.дн	Продолжительность выполнения работ													
				Фев.		Март			Апр.			Май			Июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление ТЗ	Руководитель	2	■													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель	5	■													
3	Проектирование системы внутризаводского ЭС	Инженер, Руководитель	23		■	■	■										
4	Проектирование системы внутрицехового ЭС	Инженер, Руководитель	23				■	■	■								
5	Проведение графических построений и обоснований	Инженер, Руководитель	14							■	■	■					
6	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер, Руководитель	7									■	■				
7	Составление пояснительной записки	Инженер	9										■	■			
8	Проверка ВКР	Руководитель	5													■	

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 12 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Далее, по диаграмме Ганта можно предварительно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя.

Занятость исполнителей сводится в таблицу 2.12.

Таблица 2.12

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней работы	19	81
Количество нерабочих дней за период выполнения проекта	4	16
Продолжительность выполнения проекта, в рабочих днях	<b>15</b>	<b>65</b>

Календарная продолжительность выполнения технического проекта составит 100 дней. Из них:

81 день – рабочая занятость инженера;

19 дней – рабочая занятость руководителя;

Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях составит 80 дней.

Из них:

65 дней – продолжительность выполнения работ инженером;

15 дней – продолжительность выполнения работ руководителем;

## **2.5. Расчет бюджета для научно-технического исследования**

### **2.5.1. Расчет материальных затрат НТИ**

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

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;

- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа

инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;

- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

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

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

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

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

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

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

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

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

Величина коэффициента ( $k_T$ ), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, приведены в таблице 2.13.

Таблица 2.13

Наименование	Ед. измерения	Количество		Цена за ед.,руб		Затраты на материалы, (Зм),руб.	
		Руководитель	Техник	Руководитель	Техник	Руководитель	Техник
Компьютер	Шт.	1	1	21000	18000	21000	18000
Принтер	Шт.	1	1	6000	4000	6000	4000
Mathcad	Шт.	1	1	2500	2500	2500	2500
Бумага "SvetoCopy"	Шт.	1	1	250	250	250	250
Спец. ПО	Шт.	4	3	2000	500	8000	1500
Канцелярские принадлежности	-	-	-	-	-	1100	950
Итого	66050					38850	27200

### 2.5.2. Основная заработная плата исполнителей темы

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

Полная заработная плата сотрудника ТПУ:

$$Z_{полн} = Z_{осн} + Z_{доп} ,$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-15 % от  $Z_{осн}$ ).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} ,$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

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

Среднедневная заработная плата для сотрудника ТПУ рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{тс} + Z_{допл} + Z_{р.к.}}{F_{д}}$$

где

$F_{д}$  – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе), раб. дн.

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

$Z_{допл}$  – доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{р.к.}$  – районная доплата, руб.;

Основная заработная плата  $Z_{осн}$  руководителя от предприятия рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p ,$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата работника, руб.;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых техническим работником, раб.дн.

(таблица 4.2.3.3);

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 2.14.

Таблица 2.14

Исполнители	$Z_{гс}$ , руб.	$Z_{допл}$ , руб.	$Z_{р.к.}$ , руб.	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	15584	2200	5036	21820	839,25	15	13479,25
Техник	7522	4000	3607	15629	601	65	36359,0
Итого $Z_{осн}$ , руб.							49838,25

Дополнительная заработная плата составляет 12 – 15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 2.15.

Таблица 2.15

Исполнители	$k_{доп}$	$Z_{осн}$ , руб.	$Z_{доп}$ , руб.	$Z_{полн}$ , руб.
Руководитель	0,15	13479,25	1888,26	14476,71
Техник	0,12	36359,0	4688,73	43761,53
Итого $Z_{осн}$ , руб.		49838,25	6576,99	58238,24

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

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

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). [25]

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

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (49838,25 + 6576,99) = 15288,53 \text{ руб.}$$

### 2.5.4. Накладные расходы

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

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}},$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

### 2.5.5. Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно технический проект приведен в таблице 2.16.

Таблица 2.16

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Доля, %
1. Материальные затраты	66050	46,1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	49858,25	27,9
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	6576,99	3,56
4. Отчисления во внебюджетные фонды	15782,56	8,65
5. Накладные расходы	25455,32	13,79
6. Бюджет затрат на технический проект	163723,12	100

Исходя из представленной выше таблицы, можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию технического проекта составят примерно 163 тысячи рублей, из которых большую часть составят затраты по основной з/п, и материальные затраты исполнителей. При необходимости снизить общие затраты на реализацию проекта, рекомендуется использовать в качестве выборки оборудования какое-либо другое исполнение (таблица 4.3.1).

## 2.6. Определение конкурентоспособности проекта

Определение конкурентоспособности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

$b_i$  – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Расчет показателя конкурентоспособности приведен в таблице 2.17.

Таблица 2.17

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Бальная оценка разработки
1. Повышение производительности работы	0,15	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4
3. Надежность	0,25	4
4. Безопасность	0,15	5
5. Функциональные возможности	0,25	5
6. Конкурентоспособность продукта	0,1	4
ИТОГО	1,0	30

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

Показатель конкурентоспособности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-бальной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

В ходе выполнения данной части выпускной работы была доказана конкурентоспособность данного технического решения в сравнении с другими перспективами, был произведен SWOT-анализ, планирование, которое ограничило выполнение работы в 100 дня. Также был посчитан бюджет НТИ равный 163 тыс. руб, основная часть которого приходится на зарплаты сотрудников.

### **3. Социальная ответственность**

#### **Введение**

В данном разделе рассматриваются безопасность и экологичность в лаборатории при работе на лабораторном стенде. Здесь будет рассматриваться обеспечение необходимых условий труда в лаборатории (санитарно-гигиенические условия, защита от негативных производственных факторов, обеспечение пожарной безопасности) в соответствии с действующими нормативными документами, а также вопросы экологической безопасности.

#### **3.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.**

Общая площадь рабочего помещения составляет  $60\text{ м}^2$  (длина  $A=10\text{ м}$ , ширина  $B=6\text{ м}$ ), объем составляет  $270\text{ м}^3$  (высота  $C=4,5\text{ м}$ ).

По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 санитарные нормы составляют  $6,5\text{ м}^2$  и  $20\text{ м}^3$  объема на одного человека [26]. Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

После проведения анализа габаритных размеров кабинета, была рассмотрен микроклимат в этом помещении. В качестве параметров микроклимата выбрана температура воздуха и освещение.

В помещении осуществляется естественная вентиляция посредством наличия легко открываемого оконного проема (форточки), а также дверного проема. По зоне действия такая вентиляция является общеобменной. Основным недостаток - приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания. Согласно нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более  $40\text{ м}^3$ [1]. В данном случае объем воздуха на одного человека составляет  $45\text{ м}^3$ , из этого следует, что дополнительная вентиляция не требуется.

Одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов является шум. Он создается работающим оборудованием, преобразователями

напряжения, работающими осветительными приборами дневного света, а также проникает извне. Шум вызывает головную боль, быструю утомляемость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, ухудшается память, снижается реакция.

Основным источником шума в комнате являются вентиляторы охлаждения ЭВМ. Уровень шума колеблется от 35 до 40дБА. По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 при выполнении основной работы на ПЭВМ уровень звука на рабочем месте не должен превышать 50дБА [1]. Следовательно, можно считать, что рабочее место соответствует выше указанным нормам.

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно СанПиН 2.2.2.542-96 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50см вокруг ВДТ не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5Гц до 2кГц, 2,5В/м в диапазоне от 2 до 400кГц [1].

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света. Нормальная освещённость достигается в дневное время за счёт естественного света, проникающего через оконные проёмы, в утренние и вечерние часы за счёт искусственного освещения лампами.

В качестве источников искусственного света используется люминесцентные лампы, которые по сравнению с лампами накаливания имеют ряд существенных преимуществ: по спектральному составу близки к дневному, естественному свету; обладают более высоким КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД ламп накаливания); обладают повышенной светоотдачей (в 3-4 раза выше, чем у ламп накаливания); более длительный срок службы.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-0[1] освещенность рабочего стола должна быть не менее 200÷500 лк, что может достигаться установкой местного освещения. Местное освещение не должно создавать бликов на экране. За счет

правильного выбора и расположения светильников, яркость бликов на экране не должна превышать 40 кд/м<sup>2</sup>. Оборудование находится в помещении площадью 60 м<sup>2</sup>, имеющим один выход и 4 окна.

### 3.1.1. Расчет освещения

Выбор типа светильника производится с учетом следующих основных факторов:

- требуемое количество освещения;
- безопасность эксплуатации;
- удобство;
- экономичность.

Для определения необходимого количества ламп и выбора их типа ниже произведен расчет общего искусственного освещения люминесцентного освещения.

#### Данные:

Пожароопасность помещения	пожаробезопасное
Кол-во пыли	Малое
Размеры помещения, м	10*6*4.5
Площадь окна, м <sup>2</sup>	2.25

Требуется создать освещенность  $E = 200$  люкс.

Коэффициент запаса для помещений с нормальными условиями среды (учебные помещения, лаборатории)  $K_c = 1,2-1,4$  по таблице 3.1. Примем  $K_c = 1,2$

Рассчитаем систему общего освещения (люминесцентного).

На основании исходных данных предварительно выбираем светильник по таблице 3.2.

Таблица 3.1

Тип светильника	Тип КСС	Габаритные размеры, мм
ЛВП25-4×18	Г	595×595×95

Где КСС- это кривые силы света, Г- Глубокая

Так как светильник ЛВП25 потолочного типа, тогда расчётная высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = H_{ном} - h_p = 4.5 - 0.8 = 3.7 \text{ м.}$$

где  $h_p$  - высота рабочей поверхности над полом, 0,7-1,1м

где  $H_{ном}$  - высота самого помещения, м

Коэффициент неравномерности освещения для люминесцентных ламп  $Z=1,1$  [3].

Коэффициент отражения потолка  $\rho_{п}=70\%$ , стен  $\rho_{с}=50\%$ , пола  $\rho_{р}=50\%$  для данной комнаты определяются по таблице 3.4.

Для обеспечения равномерности освещения определим оптимальное расстояние между соседними светильниками:

$$\lambda_n \cdot h \leq L \leq \lambda_y \cdot h$$

Где  $\lambda_n$ ,  $\lambda_y$  – относительные светотехнические и энергетические наивыгоднейшие расстояния между светильниками, и они равны для Глубокой(Г) КСС  $\lambda_n=0.8$  и  $\lambda_y=1.4$ , тогда

$$0,8 \cdot 3,7 \leq L \leq 1,4 \cdot 3,7$$

$$2,96 \leq L \leq 5,18$$

Примем  $L=3\text{м}$

Расстояние от несущих стен до ближайшего ряда светильников  $l_B$  или до ближайшего светильника в ряду  $l_A$  принимают в пределах  $(0,3...0,5) \cdot L$  :

$$l_B = (0,3...0,5) \cdot L = 1 \text{ м.}$$

Определим число рядов светильников:

$$N_2 = \frac{B - 2 \cdot l_b}{L} + 1 \quad N_2 = \frac{6 - 2 \cdot 1}{3} + 1 = 2,33$$

Принимаем  $N_2=2$

Предварительный выбор люминесцентной лампы

Таблица 3.2

Тип люминесцентной лампы	Световой поток выбранной лампы, лм	Мощность выбранной лампы, Вт
ЛБ18-4	1100	18

Найдем индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{10 \cdot 6}{3,7 \cdot (10 + 6)} = 1,02.$$

Тогда, по таблице 3.5 коэффициент светового поток равен  $\eta = 0,6$ .

Рассчитаем количество люминесцентных ламп в помещении:

$$N = \frac{E_H \cdot S \cdot K_c \cdot Z}{\Phi \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 60 \cdot 1,2 \cdot 1,1}{1100 \cdot 0,6} = 24 \text{ шт.}$$

Определяем количество светильников в помещении:

$$N_{\Sigma} = N / N_n \quad N_{\Sigma} = 24 / 4 = 6 \text{ шт.}$$

Где  $N_n$  - количество ламп в светильнике

Число светильников в ряду:

$$N_1 = N_{\Sigma} / N_2 \quad N_{\Sigma} = 6 / 2 = 3 \text{ шт.}$$

Суммарная длина светильников:

$$L_{\Sigma} = N_1 \cdot l_n \quad L_{\Sigma} = 3 \cdot 0,595 = 1,785 \text{ м.}$$

Расстояние от стены до светильника в ряду:

$$\text{примем } l_a = 0,9 \text{ м}$$

Расстояние между светильника:

$$L_D = (A - N_1 \cdot l_n - 2 \cdot l_a) / (N_1 - 1) = (10 - 3 \cdot 0,595 - 2 \cdot 0,9) / (3 - 1) = 3,2075 \text{ м}$$

Условие равномерности освещения:

$$0 \leq L_D \leq 1,5 \cdot L_B \quad 0 \leq 3,2 \leq 5,55 \text{ м.}$$

Условие выполняется

План размещения светильников с люминесцентными лампами показан на рисунке 1.

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 24 \cdot 18 = 432 \text{ Вт.}$$

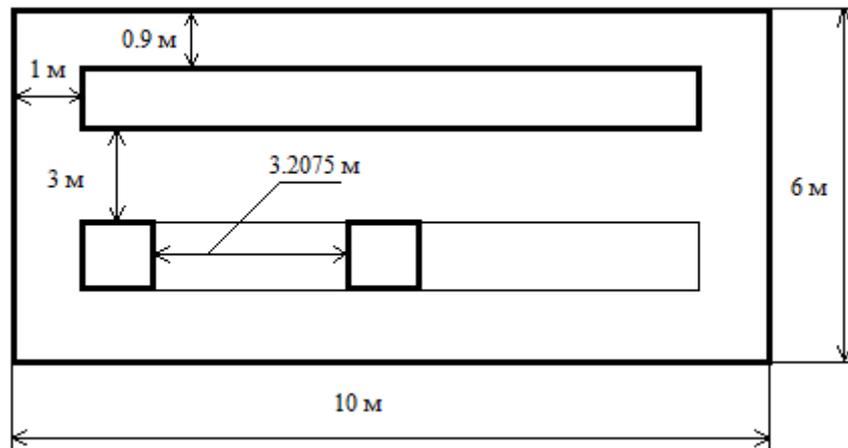


Рисунок 3.1 – План размещения светильников с люминесцентными лампами

Предварительный выбор светильника, лампы и расположения светильников принимаем в качестве окончательного.

### 3.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производённой среды.

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50Гц. По опасности электропоражения комната относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного соприкосновения с имеющими соединение с землей металлическими предметами и металлическими корпусами оборудования [32].

Во время нормального режима работы оборудования опасность электропоражения крайне мала, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ;
- при однофазном (однополюсном) прикосновении незащищенного от земли человека к незащищенным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением;

- при прикосновении к нетоковедущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции;
- при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением;
- при возможном коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания, блоке развертки монитора.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются [33]:

- изолирование (ограждение) токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- установки защитного заземления;
- наличие общего рубильника;
- своевременный осмотр технического оборудования, изоляции.

### **3.3. Охрана окружающей среды**

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть(поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации.

Утилизация ЭВМ является обязательным условием, которое прописано в российском законодательстве. Под него попадают как организации, так и физические лица.

Выброс компьютеров на свалки приводит к повреждению экологии и окружающей среды. Поэтому необходимо обратиться к лицензированным компаниям, представляющим услуги по утилизации отходов.

При утилизации ЭВМ происходит разделение частей на фракции: металлы, пластмассы, стекло, провода, штекеры. Применяются следующие методы переработки компьютеров:

- сортировка печатных плат по доминирующим материалам;
- дробление и измельчение;
- гранулирование; сепарация;
- обжиг полученной массы для удаления сгорающих компонент;
- расплавление полученной массы;
- рафинирование;
- прецизионное извлечение отдельных материалов;
- создание экологических схем переработки компьютерного лома;
- создание экологически чистых компьютеров.

В Томске можно обратиться в компанию РУСУТИЛИТ, занимающуюся утилизацией ЭВМ, которая работает на основании лицензии Федеральной службы по надзору в сфере природопользования 066 № 00329 от 04 февраля 2016 г. на деятельность по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию размещению отходов I-IV классов опасности [45].

### 3.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Потенциальное возникновение пожара связано с наличием промышленного компьютера, накоплением токоведущей пыли внутри, и, как следствие, возможно короткое замыкание и быстрое возгорание пыли, что и приведет к пожару. Также наличие нагревающихся в ходе работы элементов установки, в симбиозе с плохой теплоотдачей, может привести к воспламенению материалов вблизи с установкой.

В связи с возможной угрозой возникновения пожара был разработан план действий:

- в случае обнаружения возгорания необходимо сообщить руководителю и попытаться потушить очаг возгорания своими силами с помощью средств первичного пожаротушения, а именно: огнетушитель порошковый, углекислотный О-1П0 (з)-АВСЕ;
- в случае, если потушить очаг возгорания не удастся, привести в действие ручной пожарный извещатель;
- немедленно сообщить о чрезвычайной ситуации в пожарную охрану по телефону 01 (сотовый 010), назвать адрес объекта, место и причины возникновения пожара;
- принять меры по эвакуации людей, материальных ценностей;
- приступить к тушению пожара, отключив электроэнергию;
- встретить подразделения пожарной охраны и, при необходимости, оказать помощь при выборе наилучшего пути для подхода к очагу возгорания.

План эвакуации персонала из учебной аудитории №260 представлен на рисунке 3.2.

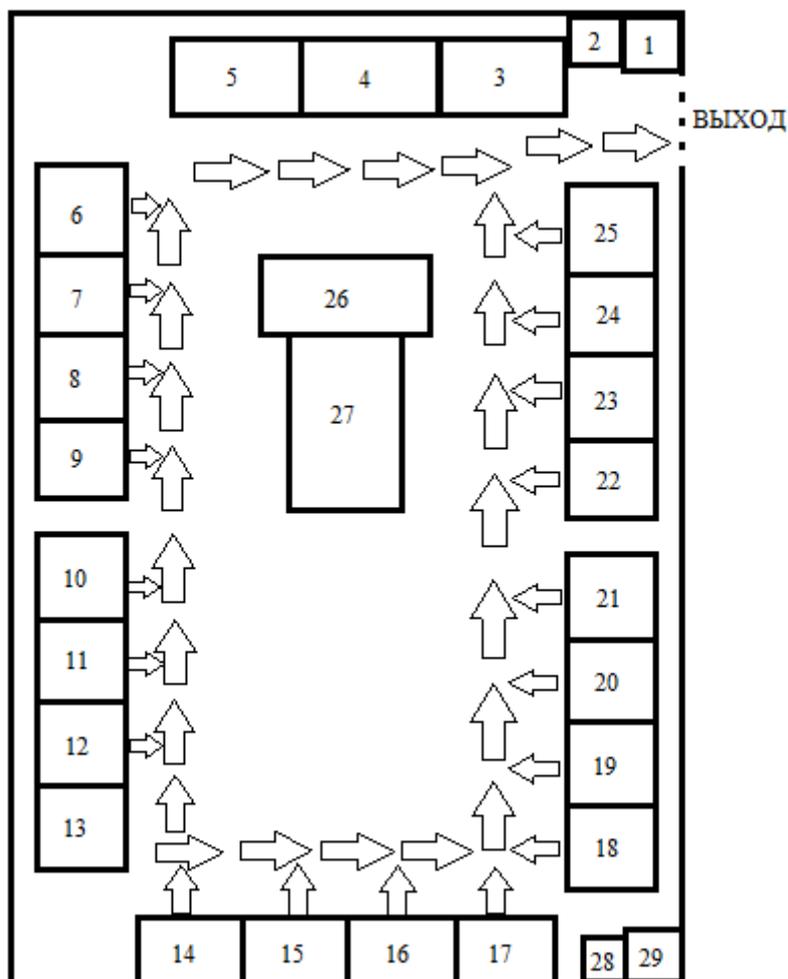


Рисунок 3.2 – План эвакуации сотрудников из лаборатории в случае возникновения чрезвычайной ситуации

3-25 – лабораторные стенды; 1,29 – шкафы;  
2,28-сейфы; 26,27- столы.

Возникновение других видов ЧС маловероятно, соответственно рассмотрению не подлежат.

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

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

В соответствии с Трудовым кодексом, на производстве с численностью более десяти человек должны создаваться комитеты по охране труда, в состав которых входят представители работодателя и профсоюзов. Задачами комитета являются: организация по обеспечению выполнения работниками требований по охране труда, контроль за соблюдением охраны труда, информация о состоянии охраны труда. Комитет по охране труда ведет учет и анализ производственного травматизма и профессиональных заболеваний, измерение величин опасных и вредных факторов, оценку травмобезопасности, аттестацию рабочих мест, приемку в эксплуатацию производственных объектов, согласование документации в области охраны труда, участие в расследовании несчастных случаев, обучение по охране труда в соответствии со следующими документами:

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

## Заключение

В бакалаврской ВКР были рассчитаны элементы силовой цепи и произведен их выбор для вентильного двигателя, рассчитаны параметры транзисторов и диодов. Также была разработана линеаризованная модель системы электропривода ВД в пакете Simulink технической программы Matlab R2013a. В данной модели были настроены регуляторы тока и скорости на модульный оптимум. Затем были учтены основные нелинейности системы: реактивный характер нагрузки и насыщение регуляторов. На стандартных элементах Matlab R2013a была собрана модель для оценки адекватности нелинейной модели. После были построены характеристики переходных процессов. Результаты моделирования процессов пуска, наброса нагрузки, реверса и сброса нагрузки в линеаризованной системе, составленной на основе структурной схемы системы в основном совпадают с результатами модели на стандартных элементах Matlab R2013a, небольшие различия объясняются разными методами расчетов в этих моделях.

В экономическом разделе была доказана конкурентоспособность данного технического решения в сравнении с другими перспективами, был рассчитан SWOT-анализ, ППР, которое занимало 100 дней. При подсчете бюджет НТИ была выявлена сумма в виде 163 тыс. руб, у которой основная часть приходится на заработные платы сотрудников.

В разделе социальная ответственность был спланирован план эвакуации при ЧС, произведен расчет системы освещения, также рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, произведен анализ вредных факторов окружающей среды.

### Список используемых источников:

1. И.Ануфриев, А.Смирнов, Е.Смирнова. MATLAB 7. Наиболее полное руководство. Санкт-Петербург, БХВ-Петербург, 2005.
2. А.В.Башарин, В.А.Новиков, Г.Г. Соколовский. Управление электроприводами (Для студентов ВУЗов). Ленинград, Энергоиздат, Ленинградское отделение, 1982г.
3. Ю.А.Борцов, Г.Г.Соколовский. Автоматизированный электропривод с упругими связями. Санкт-Петербург, Энергоатомиздат, 1992г.
4. Е.Бенькович, Ю.Колесов, Ю.Сениченков. Практическое моделирование динамических систем. БХВ –Петербург, 2002г.
5. Ю.М.Беленький, А.Г. Микеров. Выбор и программирование параметров бесконтактного моментного привода. Л.: ЛДНТП, 1990.
6. С.Г. Герман-Галкин. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем. -Санкт-Петербург. "КОРОНА принт", 2001.
7. Т.А. Глазенко, Р.Б. Гончаренко. Полупроводниковые преобразователи частоты в электроприводах.-Л.: Энергия, 1969.
8. Т.А. Глазенко. Полупроводниковые преобразователи в электроприводах постоянного тока.-Л.: Энергия, 1973.
9. Дьяконов В. SIMULINK 4. Специальный справочник. - СПБ.: Питер, 2002.
10. Забродин Ю. С. Промышленная электроника.- М.: Высшая школа, 1982.
11. Н.Ф.Ильинский. Основы электропривода. Учебное пособие для ВУЗов. Москва, Изд.МЭИ, 2003г.
12. С.А.Ковчин, Ю.А.Сабинин. Теория электропривода. Для студентов ВУЗов.
13. Санкт-Петербург, ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, Санкт-Петербургское отделение, 1994г.
14. Ю. Лазарев. Моделирование процессов и систем в MATLAB Учебный курс.
15. В.С. Медведев, В.Г. Потемкин. Control System Toolbox. Matlab 5 для студентов.-М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1999.
16. Прянишников В. А. Электроника. Курс лекций.- СПб.: Корона Принт, 1998.

17. Ромаш Э.М., Драбович Ю.И., Юрченко Н.Н., Шевченко П.В. Высокочастотные транзисторные преобразователи.-М.: Радио и Связь, 1988.
18. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями. О.В. Слежановский, Л.Х. Дацковский, И.С. Кузнецов, Е.Д. Лебедев, Л.М. Тарасенко.Москва, Энергоатомиздат, 1983.
19. А.А.Усольцев. Векторное управление асинхронными двигателями.Учебное пособие по дисциплинам электромеханического цикла. Санкт-Петербург, 2002г.
20. Чиженко И.М., Руденко В.С., Сенько В.И. Основы преобразовательной техники.-М.: Высшая школа, 1974.
21. .Б.И.Фигаро, Л.Б Павлячек. Теория электропривода. Минск, ЗАО Техноперспектива , 2004г.
22. Ч. Филипс, Р. Харбор. Системы управления с обратной связью. Москва. Лаборатория базовых знаний. 2001.
23. Цифровые электроприводы с транзисторными преобразователями/ С.Г. Герман-Галкин, В.Д. Лебедев, Б.А. Марков, Н.И. Чичерин.-Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние,1986.
24. И.В.Черных. SIMULINK среда создания инженерных приложений.
25. Р.Т.Шрейнер. Системы подчиненного регулирования электроприводов. Учебное пособие для ВУЗов. Екатеринбург, Изд-во Урал.гос. проф.-пед.ун-та,1997г.
- 26.Майсак О. С. SWOT-анализ: объект, факторы, стратегии. Проблема поиска связей между факторами // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. — 2013. — № 1 (21). — С. 151—157
- 27.Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
- 28.Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г

29. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
30. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
31. ГОСТ 12.0.003–74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
32. ГОСТ 12.1.019–79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
33. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. Обучение работающих безопасности труда.
34. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
35. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
36. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
37. СНиП П-12-77. Защита от шума.
38. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
39. СНиП 2.04. 05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
40. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
41. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003.
42. Регулирующий стандарт по электромагнитным полям МРР II.
43. ГОСТ 12.1.045-84. Электростатические поля.
44. СанПиН 1757-77. Допустимая напряженность электростатического поля.
45. Федеральная служба по утилизации компьютеров и оргтехники [Электронный ресурс]. URL: <http://rusutilit.ru>. (Дата обращения: 11.05.2016г).
46. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.

47. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.