

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический институт

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электропривода и электрооборудования

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
ПОЗИЦИОННЫЙ СЕРВОПРИВОД С СИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ

УДК 62-83:796.02

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Сюз Юйлян		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Каракулов А.С.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и
ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселева Е.С.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Немцова О.А.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭПЭО	Иванов А.В.	к.т.н., доцент		

Томск – 2020 г.

Результаты обучения по направлению
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Умение проектировать электрические и электрические системы и их компоненты.
P2	Применять современные методы и инструменты для практической инженерной деятельности для решения задач в области энергетики и электротехники.
P3	Применять математические и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрооборудования, объектов и систем.
P4	Используем квалифицированные навыки, компьютерные технологии, презентацию, отчетность и обмен технической информацией в области электротехники и электротехники.
P5	Для того чтобы иметь возможность формулировать задачи в области энергетики и электротехники, используйте все необходимые имеющиеся ресурсы для их анализа и решения.
P6	Планировать и анализировать, моделировать и проведите экспериментальное исследование по вашему профилю используя новейшие достижения науки и техники, лучший отечественный и международный опыт, связанные с выполненной работой.
P7	Планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, Определить характеристики параметров электрооборудования и состояние, Интерпретировать данные и сделать выводы.
P8	Использование знаний в области управления для управления комплексной инженерией в области энергетики и электротехники.
P9	Имеем чувство ответственности и придерживайтесь стандартов профессиональной этики и норм для ведения интегрированной инженерной деятельности.
P10	Эффективно работать в одиночку в области энергетики и электротехники.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический институт

Направление подготовки 13.03.02_Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ИШЭ

Иванов А.В.

(Подпись)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Сюэ Юйлян

Тема работы:

**ПОЗИЦИОННЫЙ СЕРВОПРИВОД С СИНХРОННЫМ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Приказ № 59-78/с от 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Электродвигатель ДСМ71:</p> <ul style="list-style-type: none">• Фазное напряжение: $U_{\phi}=220$ В;• Линейное напряжение: $U_{л}=380$ В;• Номинальный ток статора: $I_{н}=11,5$ А;• Статора: $R_s=4.7$ Ом• КПД: $\eta=0,9$;• Мощность двигателя: $P_{\text{дв}}=2200$ О Вт;• Синхронная частота вращения: $n_c=375$ об/мин;• Коэффициент мощности: $\cos \varphi_n=0,87$• Момент инерции: $J=0.0055$ кг·м²
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с</i></p>	<p>Титульный лист Задание Реферат</p>

<i>целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Введение
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Немцова О.А.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Е.С.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Каракулов А.С	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Сюз Юйлян		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Сюзэ Юйлян

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

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>	Премиальный коэффициент 30%; доплаты и надбавки 20%; дополнительная заработная плата 15%; накладные расходы 16%; районный коэффициент 1,3.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %. (НК РФ)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений; SWOT-анализ.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика проекта: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата; - отчисления во внебюджетные фонды; - накладные расходы; - амортизационные отчисления.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- оценка эффективности разработки проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности НИ; 2. Матрица SWOT; 3. График Гантта; 4. График проведения и бюджет НИ.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Е.С.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Сюзэ Юйлян		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Сюзэ Юйлян

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электропривод и автоматизация

Тема ВКР: ПОЗИЦИОННЫЙ СЕРВОПРИВОД С СИНХРОННЫМ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Помещение закрытого типа с естественной вентиляцией воздуха. Основное рабочее оборудование –сервопривод с синхронным электродвигателем
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– Правила противопожарного режима в РФ – Постановление Правительства №263 от 10.03.1999 г о правилах организации и осуществления производственного надзора – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001, № 197-ФЗ – анализ внутренних нормативных документов и регламентов организации (устав предприятия, памятка сотруднику).
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды: – отклонение параметров микроклимата; – повышенный уровень шума; – повышенный уровень вибрации; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – Повышенное значение напряжения в электрической цепи
3. Экологическая безопасность:	Анализ влияния объекта на окружающую среду. Разработка решения по обеспечению экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации на рассматриваемом рабочем месте - это возникновение пожара.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова О.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Сюзэ Юйлян		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 89с, 48рисунков, 2Таблицы, 6 источников.

Ключевые слова: синхронный электродвигатель с постоянными магнитами, датчик положения, серво контроллер, математическая модель, позиционное регулирование, контур тока, контур скорости, контур положения.

Объектом проектирования является учебный стенд на базе синхронного электродвигателя.

Цель работы – исследование работы сервопривода в токовом, скоростном и позиционном режиме, определение настроек контуров управления синхронного двигателя.

В процессе исследования были выбраны сервоконтроллер и двигатель, разработана цифровая система управления, смоделирована система электропривода и изучена микропроцессорная система управления.

Оглавление	
РЕФЕРАТ.....	7
Введение	10
1. ВЫБОР СЕРВОКОНТРОЛЛЕРА И ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	11
1.1 Серводвигатели.....	11
1.2 Выбор электродвигателя и расчет его параметров	14
2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ.....	19
2.1. Особенности синхронного двигателя с постоянными магнитами.	19
2.2 Векторная диаграмма, момент и структурная схема синхронного двигателя с постоянными магнитами	20
3. Датчики	23
4. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	26
4.1 Создание модели двигателя и инвертора напряжения.....	26
4.2 Переход от модели к реальной системе.....	29
4.3. Алгоритм выравнивания вала ротора	32
5. РАЗРАБОТКА ВЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.....	33
5.1. Настройка и проверка контура тока.....	34
5.2. Настройка и проверка контура скорости.....	36
6. Создание и проверка защит	44
7. Проведение испытаний на экспериментальном стенде	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	50
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	51
8.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	52
8.2 Потенциальные потребители результатов исследования	53
8.3 Анализ конкурентных технических решений.....	53

8.4 Swot-анализ	55
8.5 Планирование научно-исследовательских работ	56
8.5.1 Структура работ в рамках научного исследования	56
8.5.2 Определение трудоемкости выполнения работ	57
8.5.3 Разработка графика проведения научного исследования	58
8.5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	62
8.5.5 Расчет материальных затрат НТИ	62
8.5.6 Основная заработная плата исполнителей темы	63
8.5.7 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	66
8.5.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	67
8.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	68
9 . Социальная ответственность	71
9.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	72
9.2 Производственная безопасность	74
9.2.1. Анализ вредных и опасных факторов	74
9.2.2 Повышенный уровень шума	75
9.2.3 Повышенный уровень вибрации	77
9.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны	78
9.2.6 Отклонение параметров микроклимата	81
9.2.7 Опасность поражения электрическим током	82
9.3 Экологическая безопасность	83
9.4 Безопасность в ЧС	84
9.4.1. Загорание (пожар)	85
9.4.2 Электропоражение как возможная ЧС	86
Выводы	88
Список источников	89

Введение

Существующие различные типы электродвигателей часто заставляют задуматься, какая машина лучше всего подходит для разработанного электрического привода.

Синхронных двигателей с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ) получают широкое применение в качестве специальных электроприводов, общепромышленных приводов, электроприводов в медицинской, бытовой технике.

В синхронных двигателях крутящий момент пропорционален фактическому напряжению питания. Поэтому даже в случае падения напряжения в сети синхронные двигатели сохраняют большую нагрузочную способность, чем асинхронные двигатели. Это показывает, что надежность этого двигателя выше. Массогабаритные показатели СДПМ меньше конкурентов. Ротор имеет маленький момент инерции.

Преимущества СДПМ делают его привлекательным во многих областях, включая робототехнику.

Динамические характеристики синхронных двигателей с постоянными магнитами во многом зависят от системы управления. Наиболее распространенные типы систем управления используют датчики. Первый имеет низкую точность и недостаточно надежен. Поэтому наиболее актуальной является разработка системы управления с использованием датчика положения вала ротора..

Объектом исследования работы является синхронный двигатель с постоянными магнитами.

Предметом исследования являются цифровые системы управления двигателем с постоянными магнитами.

Методы исследования. Для выполнения поставленной цели применялись теоретические и экспериментальные методы исследований.

1. ВЫБОР СЕРВОКОНТРОЛЛЕРА И ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

1.1 Серводвигатели

Серводвигатели обладают следующими характеристиками: [1]

Характеристики

- высокая динамика,
- высокая точность позиционирования,
- высокая перегрузочная способность

Особенности

- высокая точность поддержания заданной частоты вращения;
- широкий диапазон регулирования частоты вращения;
- малое время разгона;
- малое время регулирования вращающего момента;
- большой пусковой момент;
- малый момент инерции;
- малая масса;
- компактная конструкция.

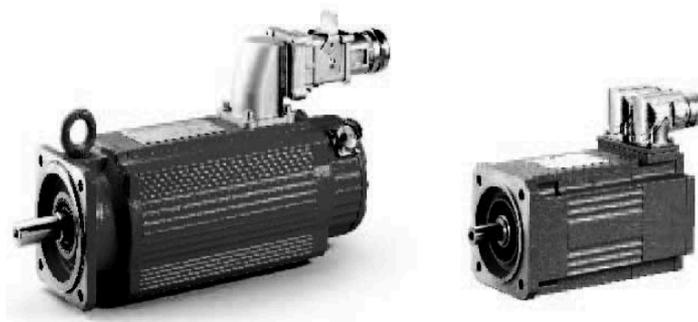


Рис.1.Серводвигателей

Основными элементами конструкции серводвигателя являются:

- ротор;
- статор;
- элементы для подключения в виде штекерных разъемов или клеммой коробки;
- датчик обратной связи.

Семейство серводвигателей можно разделить на следующие



Рис.2. Обзор серводвигателей

Устройство синхронных серводвигателей

Основными элементами конструкции синхронного серводвигателя являются:

- ротор с постоянными магнитами;
- статор с соответствующей обмоткой;
- элементы для подключения в виде штекерного разъема или клеммной коробки;
- датчик обратной связи.

Различают следующие варианты синхронных серводвигателей:

- исполнение с корпусом корпусные двигатели;
- исполнение без корпуса бескорпусные двигатели.

Исполнение без корпуса означает, что роль корпуса двигателя выполняет пакет пластин статора. Это позволяет полностью использовать весь профиль пакета стальных пластин.

Далее оба варианта исполнения представлены на примере двигателей SEW:

- исполнение с корпусом: двигатель CMP;
- исполнение с корпусом: двигатель CM/DS;
- исполнение без корпуса: двигатель CMD.

Устройство двигателя СМР

Серводвигатели СМР отличаются очень высокой динамикой, низким моментом инерции ротора, компактностью и высокой удельной мощностью.

Серводвигатели СМР – это двигатели с корпусом.

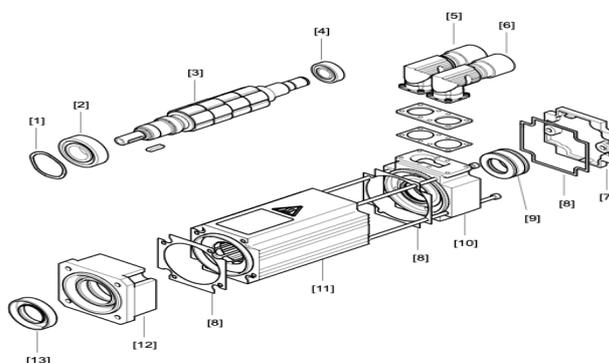


Рис.3. Устройство синхронного серводвигателя СМР компании SEW-EURODRIVE

- | | |
|--|-------------------------------|
| [1]Компенсационная шайба | [2]Радиальный шарикоподшипн |
| [3]Ротор | [4]Радиальный шарикоподшипник |
| [5]Сигнальный штекерный разъем SM / SB | |
| [6]Силовой штекерный разъем SM / SB | |
| [7]Крышка корпуса | [8]Прокладка |
| [9]Резольвер | [10]Задний подшипниковый щит |
| [11]Корпус со статором | |
| [12]Подшипниковый щит с фланцем | |
| [13]Манжета | |

Характеристики и опции двигателя СМД

- Почти 6-кратная перегрузочная способность
- Статор с шаблонной обмоткой
- Тормоз с катушкой 24 В (опция).
- Возможность установки резольвера или датчика абсолютного отсчета с высокой разрешающей способностью.
- Датчик КТУ для тепловой защиты двигателя.

1.2 Выбор электродвигателя и расчет его параметров

По формуле определяется необходимая расчетная мощность, для дальнейшего выбора двигателя:[2]

$$P_{\text{дв.расч}} = K_z \cdot \frac{F_{\text{max}} \cdot v}{\eta_{\text{п}}} = K_z \cdot \frac{m \cdot g \cdot v}{\eta_{\text{п}}} =$$
$$= 1,1 \cdot \frac{843,66 \cdot 2}{0,92} = 2017,5 \text{ Вт}$$

где K_z – коэффициент запаса;

m – масса стека, кг;

v – скорость перемещения груза, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$\eta_{\text{п}}$ – КПД передачи;

Двигатель выбираем из условия : $P_{\text{н.дв}} \geq P_{\text{дв.расч}}$.

Выбираем Электродвигатель ДСМ71 со следующими параметрами :

- Фазное напряжение: $U_{\text{ф}}=220 \text{ В}$;
- Линейное напряжение: $U_{\text{л}}=380\text{В}$;
- Номинальный ток статора: $I_{\text{н}} = 11.5\text{А}$;
- КПД: $\eta = 0,9$;
- статора: $R_{\text{с}} = 4.7 \text{ Ом}$;
- Мощность двигателя: $P_{\text{дв}} = 2200 \text{ Вт}$;
- Синхронная частота вращения: $n_{\text{с}} = 375\text{об/мин}$;
- Коэффициент мощности: $\cos\varphi_{\text{н}} = 0,87$
- Момент инерции: $J=0.0055 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

Синхронная угловая скорость двигателя:

$$\omega_{\text{дв.с}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{с}}}{30} = \frac{3.14 \cdot 375}{30} = 39.25 \text{ рад/с}$$

где $n_{\text{с}}$ – синхронная скорость вращения двигателя, об/мин;

Номинальный момент:

$$M_{дв.н} = \frac{P_{дв.}}{\omega_{дв.с}} = \frac{2200}{39,25} = 56 \text{ Нм}$$

$P_{дв.}$ – мощность двигателя, Вт;

Индуктивность статора:

$$L_s = 0.3 \cdot \frac{U_{\phi}}{I_n \cdot \rho \cdot \omega_{дв.с}} = 0.3 \cdot \frac{220}{11.5 \cdot 8 \cdot 39.25} = 0.019 \text{ Гн}$$

U_{ϕ} – фазное напряжение двигателя, В;

I_n – номинальный ток статора, А;

ρ – количество пар полюсов двигателя;

Максимальный допустимый ток двигателя:

$$I_{max} = k_{пер} \cdot I_{дв.н} = 3 \cdot 11.5 = 34.5 \text{ А.}$$

$k_{пер} = 3$ – коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току.

Выбираем серво контроллер при условии:

$$I_n \geq I_{н.дв.}, P_n \geq P_{н.дв.}$$

Из каталога выбран сервоконтроллер mUSD-220 (рисунок 5) имеющий параметры, представленные в таблице 2, и функции, представленные в таблице 3.

Сервоконтроллер mUSD содержит все необходимые функции управления для основных типов электродвигателей, и позволяет формировать необходимые траектории перемещений, выполнение ограничений на максимальный ток и скорость, отслеживать аварийные ситуации. За счет параметров настроек возможно быстро адаптировать сервоконтроллер для задач пользователей.



Рис.4. Сервоконтроллер mUSD-220.



Рис.5. Учебный стенд

Таблица 1 – Технические характеристики сервоконтроллера mUSD-220

Заданные величины	Условное обозначение	Единица измерения	Численное значение
Номинальное напряжение питания	U_{ϕ}	В	220
Напряжение питания цепей управления	U	В	24

Максимальный выходной ток	I_{max}	А	30
Номинальный выходной ток	I_H	А	15
Мощность подключаемого электродвигателя	$P_{дв.}$	Вт	2200
Частота переключения ключей	$f_{пер}$	кГц	6
Частота выполнения расчетов в контуре тока	$f_{вычисл.}$	кГц	6
Габариты	ДхШхВ	Мм	202x170x55
Масса	m	Кг	1

Таблица 2 – Функции управления и защиты сервоконтроллера mUSD-220

Режимы управления	Управление скоростью, положением, крутящим моментом
Сигналы задания	Последовательный интерфейс, аналоговый и дискретный интерфейс, встроенная таблица «индексера», встроенная система исполнения программ пользователя
Встроенный контроллер программ пользователя	Осуществляет выполнение программ пользователя («встроенный ПЛК»), за счет чего

	возможно настроить гибко логику работы устройства, полностью адаптировав к требованиям и алгоритмам обслуживаемого технологического процесса
Внешний тормозной резистор	Присутствует разъем для подключения внешнего тормозного резистора. Контроллер отслеживает количество энергии, выделяемой на резисторе для исключения его перегрева.
Автоматическая настройка датчика положения	Устанавливает параметры, синхронизирующие датчик положения с реальным положением ротора для достижения максимального крутящего момента
Профили ускорения/торможения	Формируют законы разгона и торможения для достижения плавного хода механизмов. Возможны линейный, S-образный законы с ограничением максимальной скорости, ускорения и рывка.
Защиты	Превышение тока, перегрев контроллера, превышение или понижение силового напряжения ниже заданного уровня, перегрев тормозного резистора, превышение величины рассогласования при отработке положения, обрыв датчиков положения. Возможны режимы сброса аварий: Авто, Ручное, по пересбросу питания
Сигналы задания	Фиксирует основные события и аварийные ситуации, с меткой времени, с сохранением в энергонезависимую память

2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

2.1. Особенности синхронного двигателя с постоянными магнитами

Ротор СДПМ является постоянным магнитом. Ток обмотки статора генерирует вращающееся магнитное поле статора ($\vec{\psi}_s$), магнитные полюса которого притягивают противоположные магнитные полюса ротора. В результате крутящий момент для вращения ротора создается после магнитного поля статора (рисунок 6) [3].

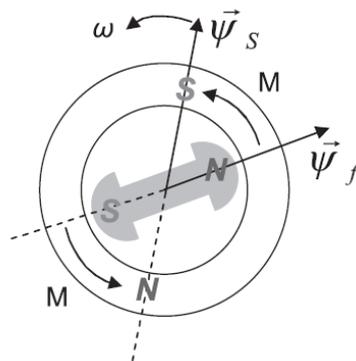


Рисунок 6 – Принцип работы СДПМ

Показана физическая модель синхронного двигателя с постоянным магнитом на рисунке 7.

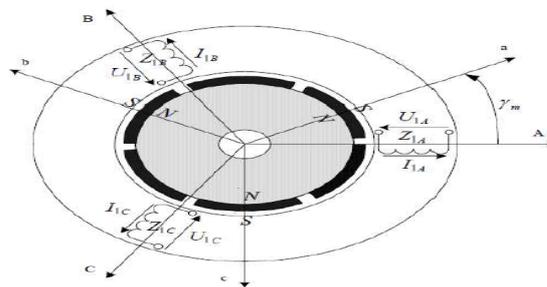


Рис.7. Физическая модель СДПМ

Характеристики синхронных двигателей с постоянными магнитами - низкая насыщенность и большой воздушный зазор. Поэтому мы не учитывали нелинейность магнит провода.

В модель синхронного электромеханического преобразователя без учета насыщения вводится ряд допущений:

1. Магнитно-мягкий материал магнитопровода имеет бесконечную проницаемость;

2. Отсутствие насыщения, делает все концентрированные электрические параметры, не зависящие от электрических величин;

3. Замените фактические обмотки и постоянные магниты эквивалентными амперметрами, чтобы создать напряженность магнитного поля или магнитодвижущую силу требуемого значения и формы в равномерном воздушном зазоре машины.;

4. Накопленная магнитная энергия, используемая для описания двигателя, рассматривается только как энергия статического магнитного поля;

5. Статическая энергия ничтожна;

6. Постоянные магниты являются идеальным источником напряженности магнитного поля и представляют собой бесконечно тонкую пластину.

7. Без потери стали;

8. Проницаемость воздушного зазора выражается как произведение проницаемости статора и ротора.

2.2 Векторная диаграмма, момент и структурная схема синхронного двигателя с постоянными магнитами

На рисунке 8 показана векторная диаграмма СДПМ. Мы рассмотрим рассматривать их в системе dq , ось d которой ориентирована вдоль оси ротора.

Связь потока (ψ_f), создаваемая ротором двигателя, равна произведению потока ротора и числа витков обмотки статора. Вектор связи потока проходит от положительного полюса к отрицательному полюсу вдоль оси ротора.

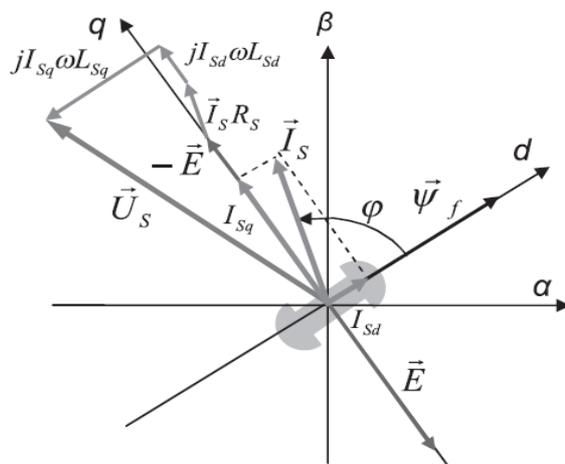


Рис.8. Векторная диаграмма СДПМ

ψ_f откладывает текущий вектор на угол поворота (φ). В обмотках статора создается постоянный поток вращающегося ротора, который находится под прямым углом к потоку и на 90 градусов ниже его вектора ЭДС (E).

Амплитуда вектора ЭДС определяется следующим выражением:

$$E = \psi_f \omega$$

Заметим, что ω — электрическая скорость вращения, определяющаяся по формуле:

$$\omega = Z_p \omega_R$$

где ω_R — скорость вращения ротора, $рад/с$;

Z_p — число пар полюсов двигателя.

Из рисунка 7 можно записать следующее векторное соотношение:

$$U_s = -E + I_s R_s + j \omega (I_{sd} L_{sd} + I_{sq} L_{sq})$$

где U_s — вектор напряжения статора, B ;

I_s — вектор тока статора, а I_{sd} и I_{sq} его осевые составляющие, A ;

L_{sd} и L_{sq} — индуктивность статора по осям d и q , $Гн$;

R_s — активное сопротивление статора, $Ом$.

Напряжение на статоре уравновешивается падением напряжения на активном и реактивном сопротивлении ЭДС и обмоток статора.

Крутящий момент двигателя создается взаимодействием тока и потока статора. Учитывая фазу и число пар полюсов, оно равно произведению этих векторов.

Для трехфазного двигателя можно записать следующее выражение:

$$M = \frac{3}{2} Z_p I_s \cdot \psi_s$$

Переходя к осям dq :

$$\frac{3Z_p}{2} (I_{sq} \psi_d - I_{sd} \psi_q)$$

где ψ_d и ψ_q – потокосцепления статора по соответствующим осям, Вб.

Выражения для этих потокосцеплений:

$$\begin{aligned} \psi_d &= L_{sd} I_{sd} + \psi_f \\ \psi_q &= L_{sq} I_{sq} \end{aligned}$$

С учетом этих выражение уравнение момента:

$$M = \frac{3Z_p}{2} (I_{sq} \psi_f + I_{sd} I_{sq} (L_{sd} - L_{sq}))$$

Так как у неявнополюсной машины L_{sd} и L_{sq} , то:

$$M = \frac{3Z_p}{2} I_{sq} \psi_f$$

Игнорируя магнитные потери экваториального уравнения статора синхронного двигателя во вращающейся системе координат, dq имеет:

$$\begin{cases} U_{sd} = L_{sd} \frac{dI_{sd}}{dt} + R_s I_{sd} - \omega L_{sq} I_{sq} \\ U_{sq} = L_{sq} \frac{dI_{sq}}{dt} + R_s I_{sq} + \omega L_{sd} I_{sd} + \omega \psi_f \end{cases}$$

Условие механического равновесия описывается выражением:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_c$$

Тогда, применяя преобразования Лапласа строим структурную схему СДПМ на основе полученных выражений (рисунок 9) [5].

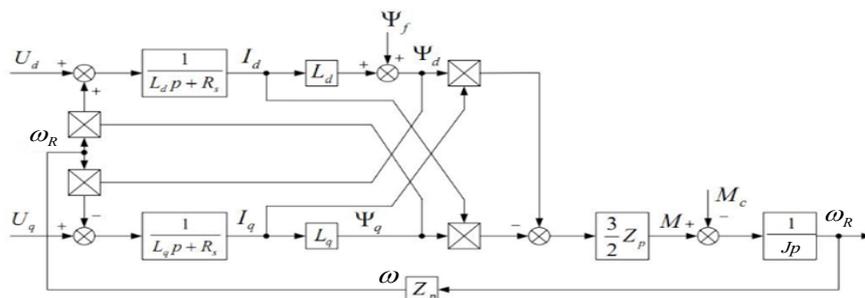


Рис.9. Структурная схема СДПМ во вращающейся системе координат

3. Датчики

В качестве датчиков для синхронных серводвигателей чаще всего используются резольверы. Абсолютное положение вала двигателя за один оборот может определить 2-обмоточный резольвер. Сигнал резольвера определяет скорость и абсолютное положение за оборот. Устройство и принцип работы Резольвер работает по принципу резольвера и состоит из двух функциональных блоков: ротора с обмотками возбуждения и магнитных полюсов, и статора с тремя обмотками: первичной обмоткой (питающей ротор) и двумя обмоткой=[1]

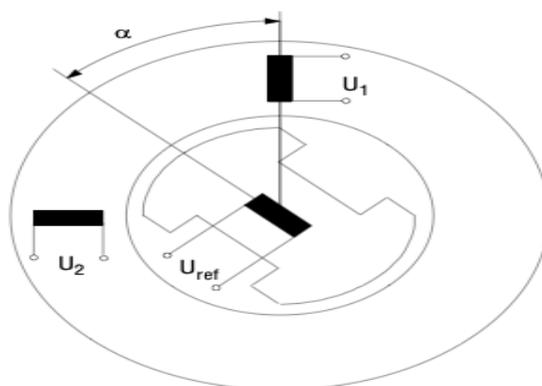


Рис.10. Структурная схема резольвера



Рис.11. Резольвер

[1] Статор резольвера [2] Ротор резольвера

Сервоусилитель передает высокочастотный сигнал постоянной амплитуды и постоянной амплитуды в первичную обмотку статора. Через воздушный зазор этот сигнал передается на обмотку возбуждения ротора.

В измерительной обмотке статора возникает напряжение, амплитуда которого зависит от угла поворота магнитного полюса ротора относительно магнитного полюса статора.

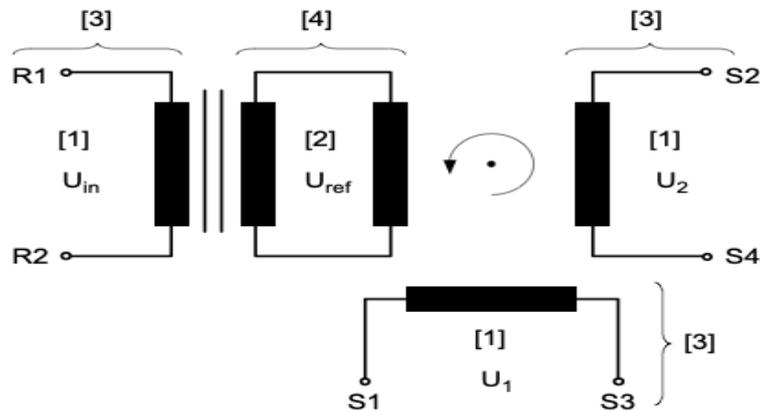


Рис.12. Схема замещения резольвера

[1] Статор [2] Ротор [3] Неподвижные обмотки [4] Вращающаяся обмотка

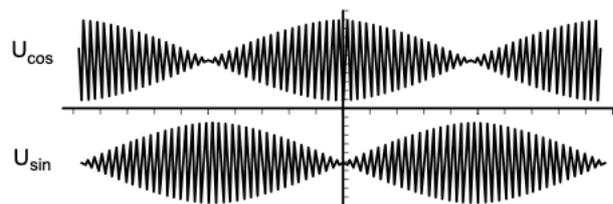


Рис.13. Выходное напряжение U_{cos} и U_{sin} резольвера

Параметры сигналов рассчитываются по следующим формулам:

$$U_{ref} = A \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$U_{cos}(t) = A \times u \times \sin(\omega \times t) \times \cos(p \times \alpha)$$

$$U_{sin}(t) = A \times u \times \sin(\omega \times t) \times \sin(p \times \alpha)$$

$$p \times \alpha = \arctan(U_{sin} / U_{cos})$$

U_{ref} Опорное напряжение

U_{cos} Выходное напряжение 1 статора

U_{sin} Выходное напряжение 2 статора

A Амплитудное значение входного напряжения

ω Круговая частота напряжения возбуждения U_{in}

- α Угол поворота ротора
- и Коэффициент трансформации
- р Число пар полюсов резольвера

Благодаря достижениям в области полупроводниковых технологий в настоящее время широко используются недорогие высококачественные аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Они позволяют создавать высококачественные внешние устройства для обработки сигналов анализатора и в то же время получать более высокое разрешение сигнала измерения, чем встроенные модули обработки сигналов анализатора, которые использовались в прошлом. Современные устройства обработки сигналов синтаксического анализатора больше не используют так называемый метод отслеживания, но работают по принципу считывания. В этом случае прямоугольный сигнал, формируемый цифровой сигнальный процессор (ЦСП), с использованием схемы возбуждения преобразуются в синусоидальное опорное напряжение и подается на резольвер, см. В зависимости от положения ротора изменяются амплитуды напряжения U_{\sin} и U_{\cos} , которые через дифференциальный усилитель подаются на АЦП. Дифференциальные усилители фильтруют высокочастотные наводки на изолированные каналные сигналы U_{\sin} и U_{\cos} выдают на входы АЦП соответствующие напряжения с привязкой к массе. АЦП считывает обе огибающие кривые синхронно с напряжением возбуждения в точках максимума, преобразует эти аналоговые сигналы в цифровую информацию и передает ее на ЦСП, см. ЦСП определяет текущее положение по считанным каналным сигналам U_{\cos} и U_{\sin} . Текущее механическое положение по считанным каналным сигналам определяется легко: $\rho \times \alpha = \arctan (U_{\sin} / U_{\cos})$.

Следовательно, для каждого периода сигнала возбуждения определяется новое значение положения. Данные, рассчитанные через двухпортовый интерфейс хранения (DPR), передаются в микроконтроллер осевого контроллера, которому необходима эта информация для управления осевым

приводом. На рисунке ниже показана принципиальная схема системы обработки сигналов считывания для резольвера.



Рис.14. Система обработки сигналов резольвера (упрощенное представление)

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

4.1 Создание модели двигателя и инвертора напряжения

Наша задача создание системы управления. На первом этапе мы создаем упрощенную модель объекта управления (синхронный двигатель). После этого существование объектной модели управления позволит проводить поэтапную отладку разрабатываемого программного обеспечения.[4]

Модель приложения синхронного двигателя представляет собой дифференциальное уравнение, решаемое методом Эйлера первого порядка. Дифференциальное уравнение описывает поведение синхронного двигателя с достаточной аппроксимацией для получения сигнала скорости и требуемого количества тока для отладки системы управления.

Мы ввели θ -переменные, чтобы создать модель, которая имитирует сигнал от резольвера, и создали необходимые θ -переменные для создания электрического угла поворота системы координат из механического угла поворота тета. Структура модели объекта управления показана на рисунке 15.

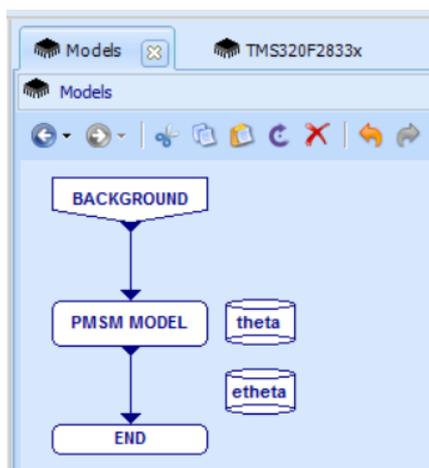


Рис.15. Структура модели объектов управления в библиотеке моделей

Модели с синхронными двигателями и с постоянными магнитами и преобразователями частоты также включены в формулу PMSM MODEL на (Рисунок 16).

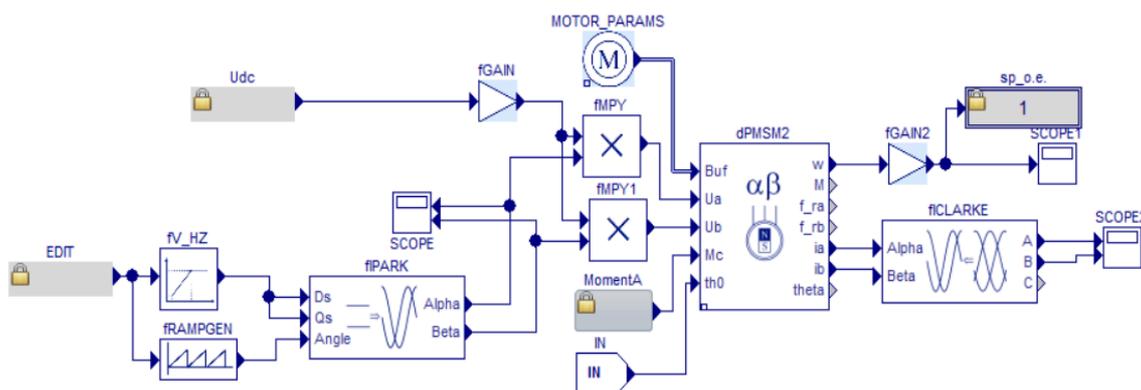


Рис.16. Скалярная система управления

Блок амплитуды fV_HZ вектора напряжения генерируется. Входной $fPARK$ должен быть снабжен значением от 0 до 0,2, поскольку единицей системы управления, используемой в качестве эталона, является фаза.

Значение напряжения на шине постоянного тока Udc представляет собой упрощенную модель преобразователя частоты, которая преобразуется в амплитудное фазное напряжение с помощью $fGAIN$ и подается в блок $fMPY$.

При подаче напряжения с частотой 5 Гц на вход СДПМ поступает сигнал с периодом 0,2 с и сдвигом фазы на 90 градусов. Полученный входной сигнал показан на рисунке 17.

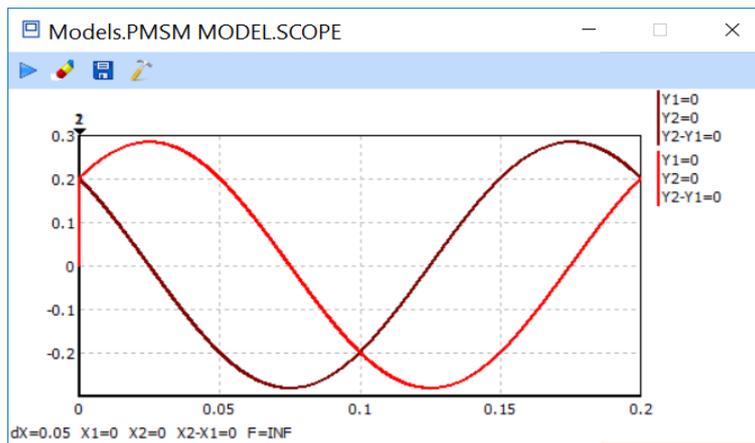


Рис.17. Опорный сигнал скалярной системы управления

Система управления должна получать два сигнала от резольвера: пилообразный сигнал положения вала ротора и пилообразный сигнал электрического положения вала ротора. Пилообразный сигнал необходим для расчета скорости вала двигателя. Во время формирования тока пилообразный сигнал электрического положения необходим для вращения системы координат. Мы получаем моделирование этих сигналов из сигнала скорости, для этого мы интегрируем скорость и представляем полученное значение положения в радианах в сигнале, помеченном резольвера. Кроме того, пилообразный сигнал должен быть получен в относительных единицах от 0 до 1. Для этого, используем готовые шаблоны в MexBIOS. Окончательная модель показана на рисунке 18.

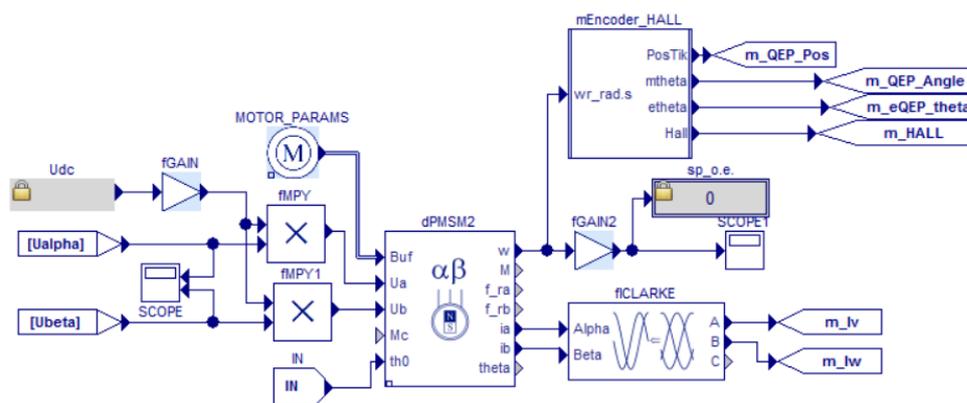


Рис.18. Конечная модель регулируемого объекта, имитирующая сигнал обратной связи

4.2 Переход от модели к реальной системе

До настоящего времени все операции выполнялись в библиотеке «модель», которая используется только для моделирования. Затем скалярная система управления должна быть передана в библиотеку TMS320F2833x для генерации прерывания с циклом 0,0002 с.

Затем вам нужно создать новую формулу SCALAR в библиотеке TMS320F2833x. После этого мы перенесли скалярную схему управления из моделей и вставили ее в TMS320F2833x.

Поскольку для создания системы управления должны использоваться следующие режимы работы: скалярное управление, Векторное управление скоростью, Возможность добавления / удаления других режимов работы.

Затем мы вводим переменную CS_mode, чтобы установить значение, которое изменит режим управления. Будет использоваться режим переключения блока IF, в котором устанавливается условие: если CS_mode= 1, схема SCALAR начинает работать в true ветви. Чтобы добавить еще одну систему управления, вам нужно добавить еще один блок IF и установить условие CS_mode = 2 и т. Д. (Рисунок 19).

Добавляем три переменные в основное поле коллекции для передачи сигналов из блока fIPARK: theta - угол поворота системы координат, а Ud и Uq - компоненты вектора напряжения во вращающейся системе координат.

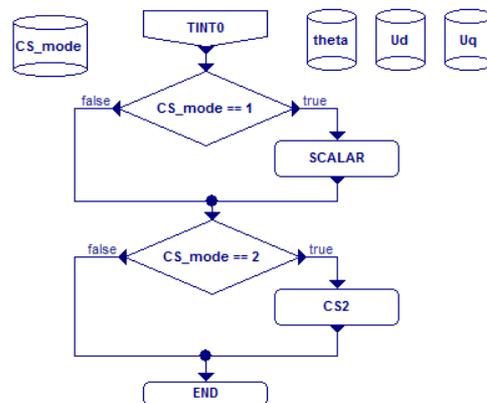


Рис.19. Принципиальная схема структуры системы управления

Создаем отдельную формулу VoltControl для размещения драйвера управления ШИМ и Специальный блок формирования напряжения с помощью ШИМ.

Чтобы использовать преобразователь частоты для приема и обработки сигналов, в основное поле добавляются новые формулы. Используется для формирования логической схемы, которая разрешает (запрещает) движение (рабочие) сигналы.

Схема, используемая для расчета сигнала скорости, показана на рисунке 20. Сигнал обратной связи fdb_wr требуется в системе управления, а сигнал $wr_ob.min$ необходим для отображения текущего значения скорости с помощью виртуального управляющего импульса.

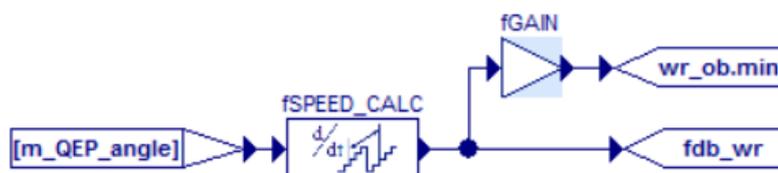


Рис.20. Схема получения сигнала скорости

Текущий сигнал должен быть преобразован из трехфазной системы координат в две фазы. Для этого мы собрали схему на рисунке 21:

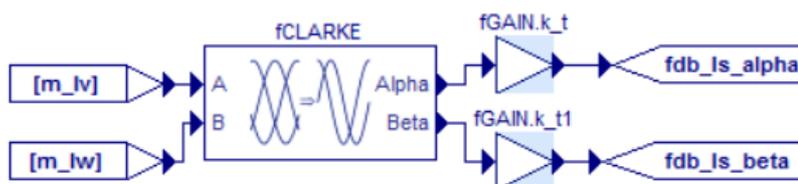


Рис.21. Схема преобразования сигналов тока

Собираем схему, чтобы получить приближение эффективного значения тока в абсолютных единицах. Для того, чтобы рассчитать примерное эффективное значение, мы используем операцию вычисления модуля вектора FMAG (рисунок 22).

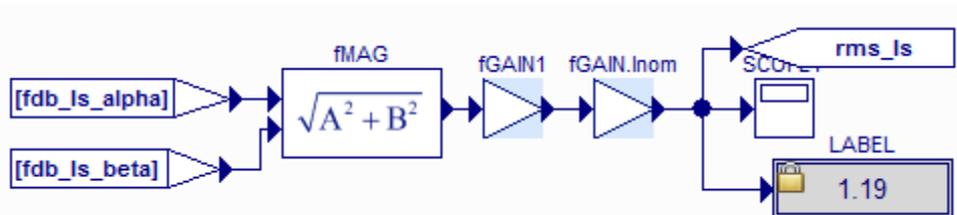


Рис.22. Схема получения действующего значения тока

Затем создаем схему, которая использует кнопку «Пуск / Стоп», чтобы разрешить или запретить запуск системы управления. Схема, которую мы собрали по формуле Драйвера (рисунок 23).

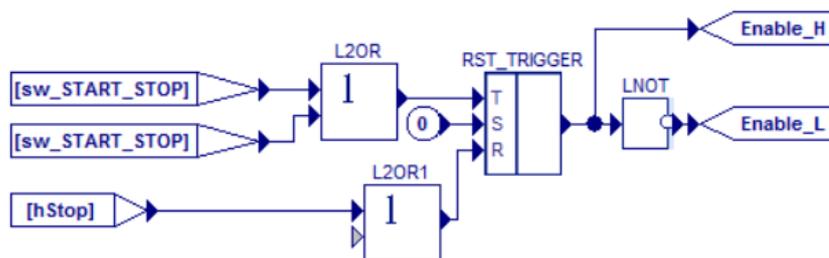


Рис.23. Схема разрешения и запрета работы СУ

HStop блок-запрет сигнала в работе будет свидетельствовать об аварии; hw_START_STOP - сигнал разрешения на использование аппаратных кнопок; Enable_H и Enable_L - сигналы включения блока. Для некоторых блоков высокий уровень сигнала (Enable_H) может использоваться для разрешения операции, Другие сигналы имеют низкий уровень сигнала (Enable_L).

Принцип работы схемы на рисунке 23 заключается в следующем: При нажатии кнопки «Пуск/Стоп» на виртуальной панели управления (будет построен ниже), сигнал высокого логического уровня будет передаваться в блок L2OR, Установите на выходе RST_TRIGGER высокий логический сигнал, В свою очередь, это позволит блоку управления работать через сигналы Enable_H и Enable_L. Чтобы удалить разрешение на работу, необходимо снова нажать кнопку «Пуск / Стоп» в графическом интерфейсе или отправить логическую единицу с помощью сигнала hStop.

Добавляем блок GATE в скалярную схему управления, которая будет контролироваться схемой разрешения на работу.

Чтобы получить сигнал обратной связи от инвертора MBS-FC01, использовать его для тестирования, необходимо добавить драйверы периферийных устройств. Драйвера энкодера QEP, Аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) ADC и ШИМ с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) PWM6 будут помещены в формулу драйвера. Используем готовые схемы, включенные в программную среду MexBIOS.

4.3. Алгоритм выравнивания вала ротора

Если для позиционирования преобразователя координат системы векторного управления синхронным двигателем используется резольвер, необходимо использовать специальный алгоритм для предварительного позиционирования вала ротора.

Работа алгоритма заключается в следующем: в течение заданного времени регулятор тока (с заданной амплитудой) используется для формирования положительного тока I_d во вращающейся системе координат.

Вал ротора притянется в нужное для старта положение. Управление выравниванием вынесем на виртуальную панель управления. Схема отсчета времени алгоритма выравнивания вала ротора представлена на рисунке 24.

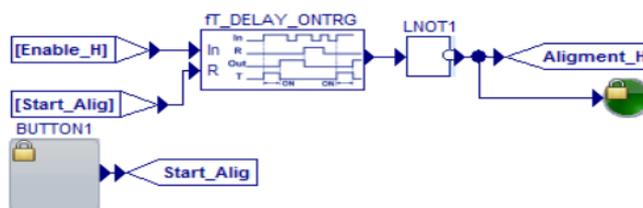


Рис.24. Схема отсчета времени алгоритма выравнивания

После разрешения работы, включится в работу блок fT_DELAY_ONTRG, по истечению заданного времени Aligment_H выставится в ноль, тем самым показывая, что процесс выравнивания завершен.

Конечный вид алгоритма представлен на рисунке 25.

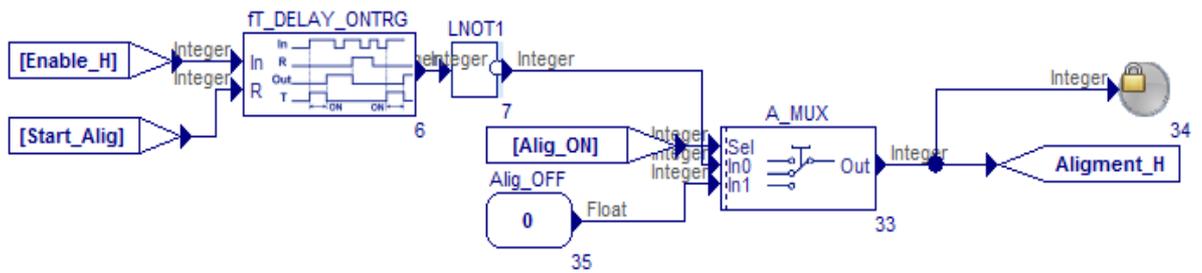


Рис.25. Схема алгоритма выравнивания вала ротора

5. РАЗРАБОТКА ВЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Крутящий момент получается путем управления величиной и мгновенной фазой вектора тока статора или вектора напряжения статора. [5]

Правильность управления динамикой векторного управления позволяет получать высоко динамичные и высокоточные приводы переменного тока., которые обеспечивают высочайшую точность и скорость регулирования [4].

Добавляем систему векторного управления в существующую схему. Система векторного управления состоит из трех контуров. Два токовых контура и контур скорости. Контур скорости выполняется на частоте 1 кГц, контур тока выполняется на частоте 5 кГц. Структурная схема векторной системы управления представлена на рисунке 26.

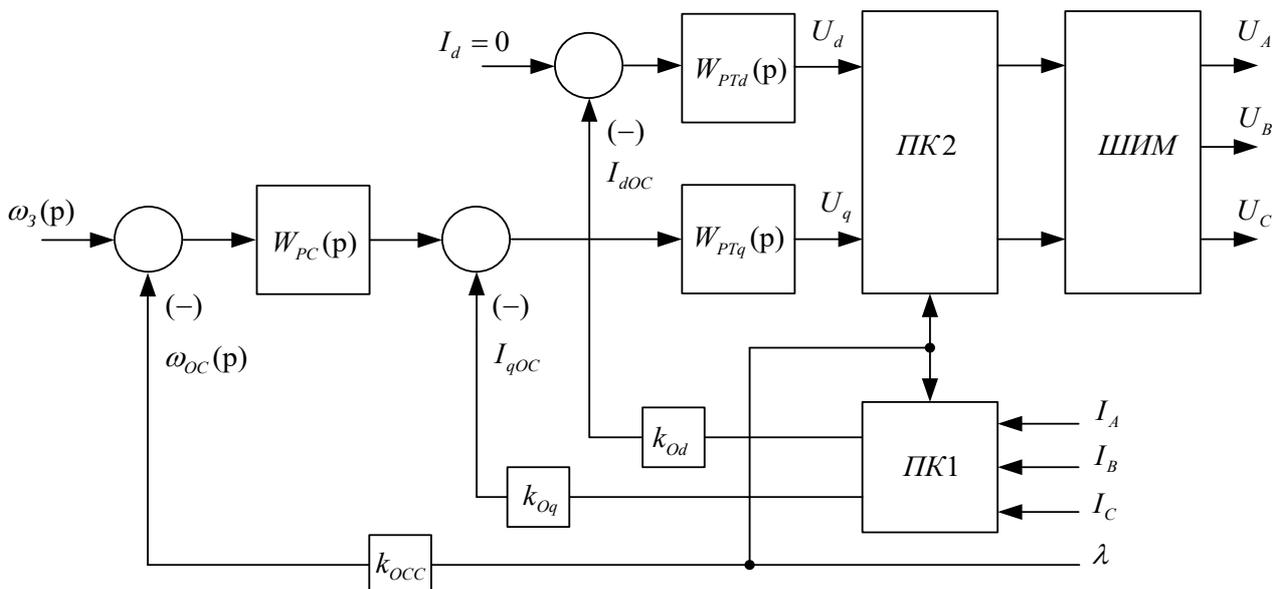


Рис.26. Структурная схема векторной системы управления СДПМ

5.1. Настройка и проверка контура тока

Внешний вид структурной схемы контура тока представлен на рисунке 27.

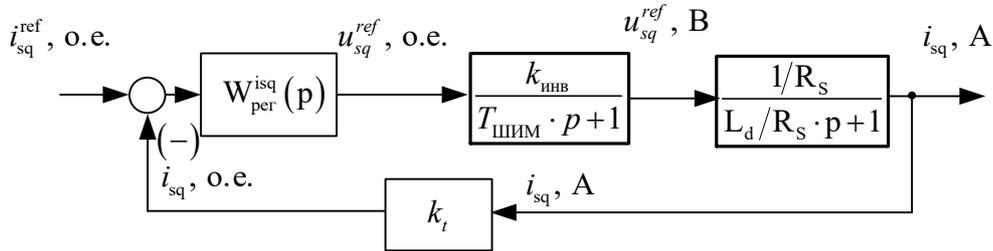


Рис.27. Структурная схема контура тока

Передаточная функция разомкнутого контура тока при оптимизации по модульному оптимуму $-W_{\text{РК}}^{\text{МО}}(p) = \frac{1}{p \cdot 2 \cdot T_{\mu\Gamma} \cdot (p \cdot T_{\mu\Gamma} + 1)}$, тогда выражение для оптимизации регулятора:

$$W_{\text{РК}}^{\text{МО}}(p) = \frac{1}{p \cdot 2 \cdot T_{\mu\Gamma} \cdot (p \cdot T_{\mu\Gamma} + 1)} = W_{\text{РТ}}(p) \cdot \frac{K_{\text{инв}} \cdot \frac{1}{R_s} \cdot K_t}{(p \cdot T_{\text{ШИМ}} + 1) \cdot (p \cdot T_c + 1)}$$

$$W_{\text{РТ}}(p) = \frac{1}{p \cdot 2 \cdot T_{\mu\Gamma} \cdot (p \cdot T_{\mu\Gamma} + 1)} \cdot \frac{(p \cdot T_{\text{ШИМ}} + 1) \cdot (p \cdot T_c + 1)}{\frac{K_{\text{инв}} \cdot 1}{R_s \cdot K_t}}$$

Так как $T_{\text{ШИМ}} < T_e$, то малая некомпенсируемая постоянная времени $T_{\mu\Gamma} = T_{\text{ШИМ}} = 0,000062$.

Значит:

$$W_{\text{РТ}}(p) = \frac{1}{p \cdot 2 \cdot T_{\mu\Gamma} \cdot (p \cdot T_{\mu\Gamma} + 1)} \cdot \frac{(p \cdot T_{\text{ШИМ}} + 1) \cdot (p \cdot T_e + 1)}{K_{\text{инв}} \cdot \frac{1}{R_s} \cdot K_t} = \frac{(p \cdot T_e + 1)}{K_{\text{инв}} \cdot \frac{1}{R_s} \cdot K_t}$$

$$= \frac{p \cdot T_e + 1}{p \cdot 2 \cdot T_{\text{ШИМ}} \cdot K_{\text{инв}} \cdot \frac{1}{R_s} \cdot K_t}$$

Анализируя полученную передаточную функцию регулятора, видно, что используем ПИ-регулятор. Тогда: $W_{\text{рег}}(p) = \frac{(p \cdot T_e + 1)}{p \cdot T_e} \cdot \frac{T_e}{2 \cdot T_{\text{ШИМ}} \cdot K_{\text{инв}} \cdot \frac{1}{R_s} \cdot K_t}$,

где $T_{\text{и}} = T_e = \frac{L_d}{R_s} = \frac{0,0022}{0,54} = 0,004074\text{с}$ – постоянная времени регулятора тока;

$K_{\text{РТ}} = \frac{L_d}{2 \cdot T_{\mu\Gamma} \cdot K_t \cdot K_{\text{инв}}} = \frac{0,0022}{2 \cdot (0,000062 + 0,0002 \cdot 2) \cdot 0,2 \cdot 13,856} = 0,859$ – коэффициент

усиления регулятора.

Для дискретной модели регулятора необходимо дополнительно учитывать коэффициента интегральной составляющей:

$$K_{iPT} = \frac{dt}{T_e} = \frac{0,0002}{0,004074} = 0,049092$$

где dt – время расчёта контура управления тока, c .

Когда ротор неподвижен, может выполняться управление током, на которое не действует обратная электродвижущая сила. Применимые модели двигателей имеют параметры Brake, если установлено равномерное, вал модели двигателя будет заблокирован и может генерировать различные токи. Токковый контур, реализованный в MexBIOS, показан на рисунке 28.

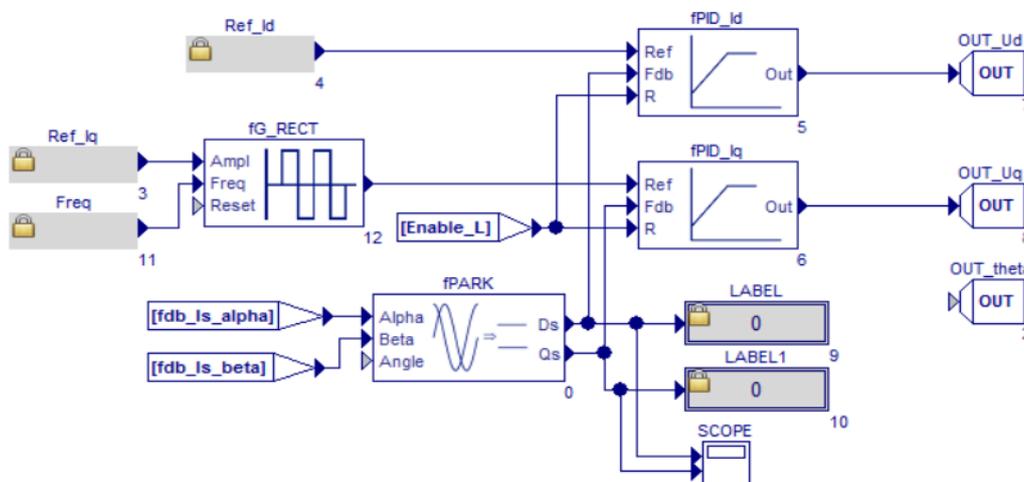


Рис.28. Контур тока СДПМ в MexBIOS

Компонент I_q отвечает за крутящий момент синхронного двигателя. Следовательно, необходимо использовать ступенчатый генератор, чтобы проверить настройку контура управления компонентом I_q . Установив значение Ref_I_q в диапазоне от 0 до 1, мы можем получить текущий переходный процесс, Как показано на рисунке 29.

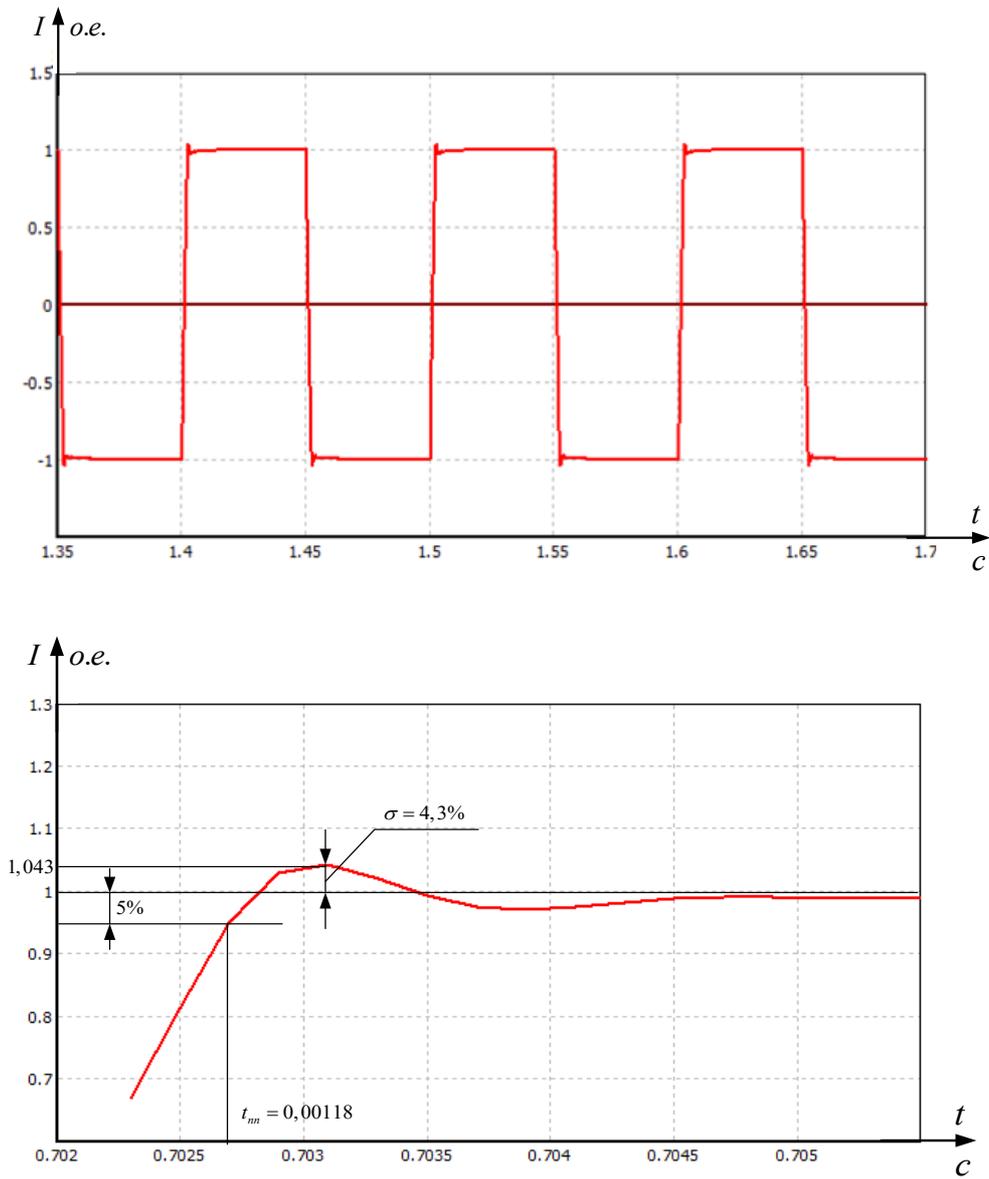


Рис.29. Переходный процесс при подаче ступенчатого задания в оптимизированном контуре тока

5.2. Настройка и проверка контура скорости

Используем фильтр на входе, чтобы настроить петлю скорости на оптимальное значение для симметрии. Блок-схема контура скорости с

ПИ-регулятором скорости и замкнутым токовым контуром $\frac{1}{2 \cdot T_{\mu Te} p + 1}$

Вышеуказанное оптимизировано, как показано на рисунке 30.

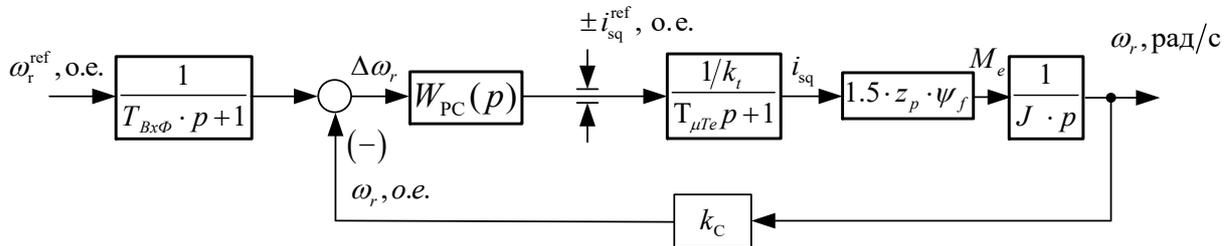


Рис.30. Структурная схема контура скорости

Малая некомпенсированная постоянная времени контура скорости равна $T_{\mu c} = 2 \cdot T_{\mu Te} = 0,000924$.

Коэффициент обратной связи по скорости:

$$K_c = \frac{\omega^{ref}}{\omega_H} = \frac{1}{314,1593} = 0,00318$$

где $\omega^{ref} = 1$ о.е. – максимальное задание на скорость, соответствующая базовой скорости;

ω_H – номинальная скорость двигателя, рад/с.

Передаточная функция разомкнутого контура при оптимизации по симметричному оптимуму – $W_{PK}^{CO}(p) = \frac{4 \cdot T_{\mu c} p + 1}{8 \cdot T_{\mu c}^2 p^2 (T_{\mu c} p + 1)}$, тогда выражение для оптимизации регулятора:

$$W_{PK}^{CO}(p) = \frac{4 T_{\mu c} \cdot p + 1}{8 \cdot T_{\mu c}^2 \cdot p^2 (T_{\mu c} \cdot p + 1)} = W_{PC}(p) \cdot K_c \cdot \frac{1}{2 \cdot T_{\mu Te} \cdot p + 1} \cdot \frac{1,5 \cdot Z_p \cdot \psi_f}{J_3 \cdot p}$$

$$W_{PC}(p) = \frac{(4 \cdot T_{\mu c} \cdot p + 1)}{8 \cdot T_{\mu c}^2 \cdot p (T_{\mu c} \cdot p + 1)} \cdot \frac{(2 \cdot T_{\mu Te} \cdot p + 1) \cdot J_3 \cdot p}{K_c \cdot 1,5 \cdot Z_p \cdot \psi_f \cdot \frac{1}{k_T}}$$

$$= \frac{(4 T_{\mu c} \cdot p + 1)}{4 \cdot T_{\mu c} \cdot p} \cdot \frac{J_3 \cdot K_T}{2 \cdot 1,5 \cdot Z_p \cdot \psi_f \cdot T_{\mu c} \cdot K_c}$$

где $T_{PC} = 4 T_{\mu c} = 4 \cdot 0,000924 = 0,0037$ с – постоянная времени регулятора скорости;

$$K_{PC} = \frac{J_3 \cdot K_T}{2 \cdot 1,5 \cdot z_p \cdot T_{\mu c e} \cdot K_c \cdot \psi_f} = \frac{0,0000119 \cdot 0,2}{3 \cdot 2 \cdot (0,000924 + 2 \cdot 0,001) \cdot 0,00318 \cdot 0,00513} = 8,316$$

– коэффициент усиления регулятора.

Анализируя полученную передаточную функцию регулятора, видно, что используем ПИ-регулятор.

Передаточная функция фильтра:

$$W_{\text{вх.ф}}(s) = \frac{1}{4 \cdot T_{\mu c} s + 1}$$

Для дискретной модели регулятора необходимо дополнительно выполнить расчет коэффициента интегральной составляющей:

$$K_{IPC} = \frac{dt}{T_{PC}} = \frac{0,001}{0,0037} = 0,27027$$

где dt – шаг расчёта контура управления скоростью по времени.

Обратимся к реализации скорости в программной среде. Контур скорости включает в себя регулятор скорости и дополнительную схему задержки для открытия регулятора скорости. Чтобы генерировать ток I_d , работа контура скорости должна быть задержана, и ток I_d формирует связь потока двигателя. Для работы в системе управления с замкнутой скоростью двигатель должен быть предварительно намагничен (образуя связь с номинальным потоком сцепления), что связано с формированием электромагнитного крутящего момента двигателя. Задержка открытия контура скорости происходит с момента нажатия кнопки «Пуск / Стоп». Реализуются контур скорости показан на рисунке 31.

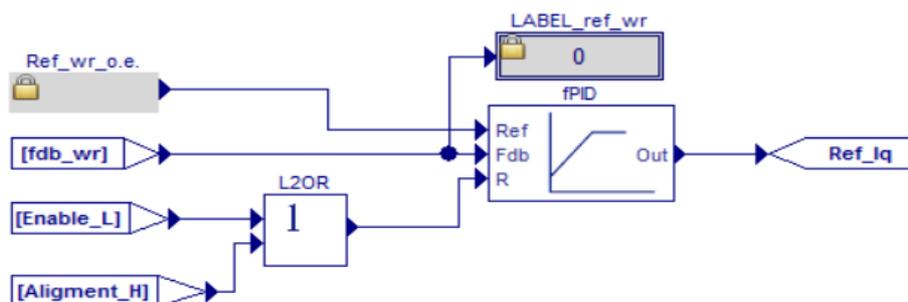


Рис.31. Контур скорости в программной среде MexBIOS

Добавление контура скорости в общую систему осуществляем с помощью блока IF (рисунок 32).

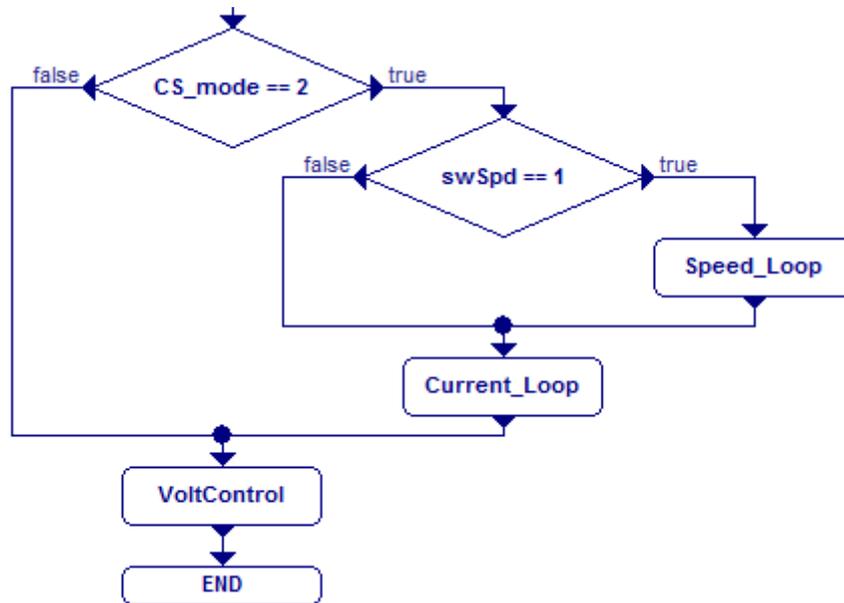


Рис.32. Контур скорости в общей системе

Добавляем регулятор интенсивности, используется для плавного ускорения и торможения двигателем, для этого добавьте шаблон (подсистему) fREF Intensity из окна шаблона в поле настроек, устройство с собранной схемой регулятора прочности, скорректированная работать на частоте 1 кГц. Вместе с подсистемой, два Edit будут добавлены, чтобы установить время разгона и торможения (рисунок 33).

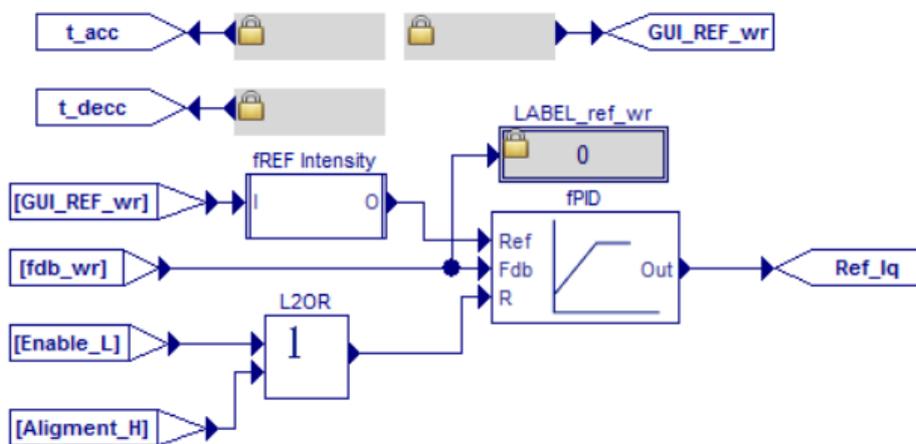


Рис.33. Контур скорости с датчиком интенсивности

Чтобы упростить управление двигателем, создаем виртуальную панель управления (рисунок 34). Руководство по методике для визуальной среды описывает подробный процесс.[5] Используемый для создания панели управления, используемой для разработки и моделирования встроенного программного обеспечения для системы управления электродвигателями, технологический центр и программируемый логический контроллер MexBIOS Development Studio.

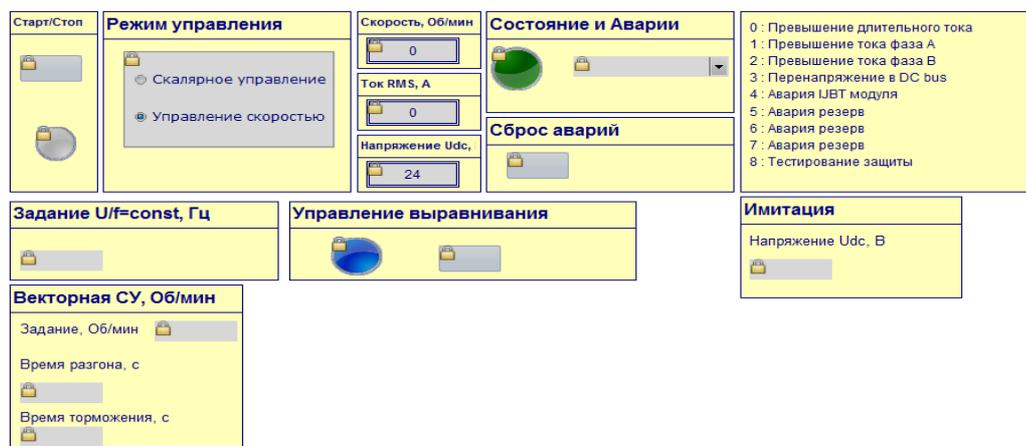


Рис.34. Виртуальная панель управления двигателем в MexBIOS Development Studio

Панель "Состояние и Аварии" на этом этапе не работает. Внедрение и настройка системы будут осуществляться в будущем.

На рисунке 35. показывает переходный процесс, когда начиная от холостого хода при номинальной скорости оптимизированной системы. Это видно из диаграммы переходных процессов во время скачка нагрузки, показанного на рисунке 36. Система вмешивается и возвращается к номинальной скорости.

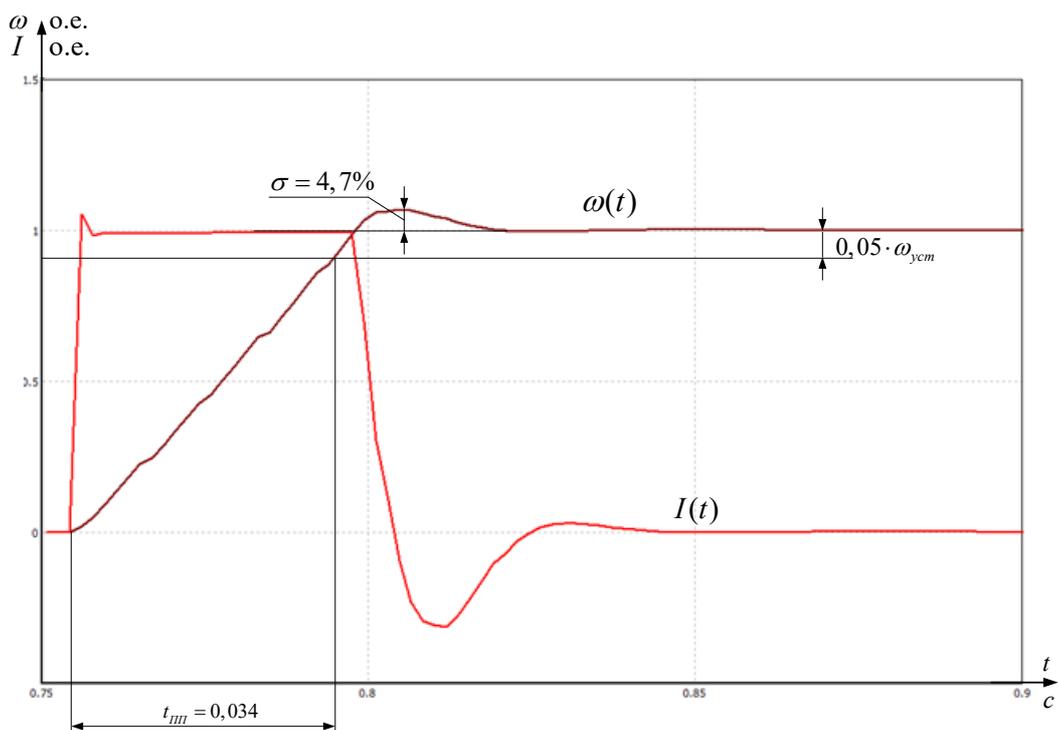


Рис.35. Переходные процессы при набросе нагрузки

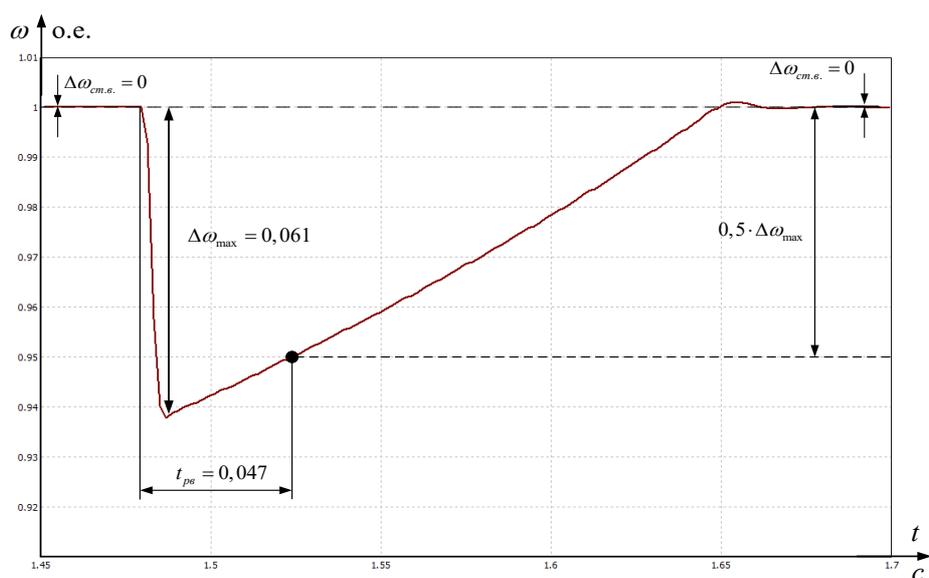


Рис.36. Переходный процесс по скорости при набросе нагрузки

Как видно из рисунка, когда фильтр используется для оптимизации симметрии на входе, нет статических ошибок. Время отклика на помехи составляет 0,047 секунды.

Мы перевернем систему без нагрузки, тогда под нагрузкой. Результаты показаны на рисунке 37 и рисунке 38. На рисунке 39 показана диаграмма переходных процессов при запуске нагрузки.

Из полученного графика видно, система управления удовлетворяет всем основным режимам работы двигателя с достаточно высокой скоростью и точностью.

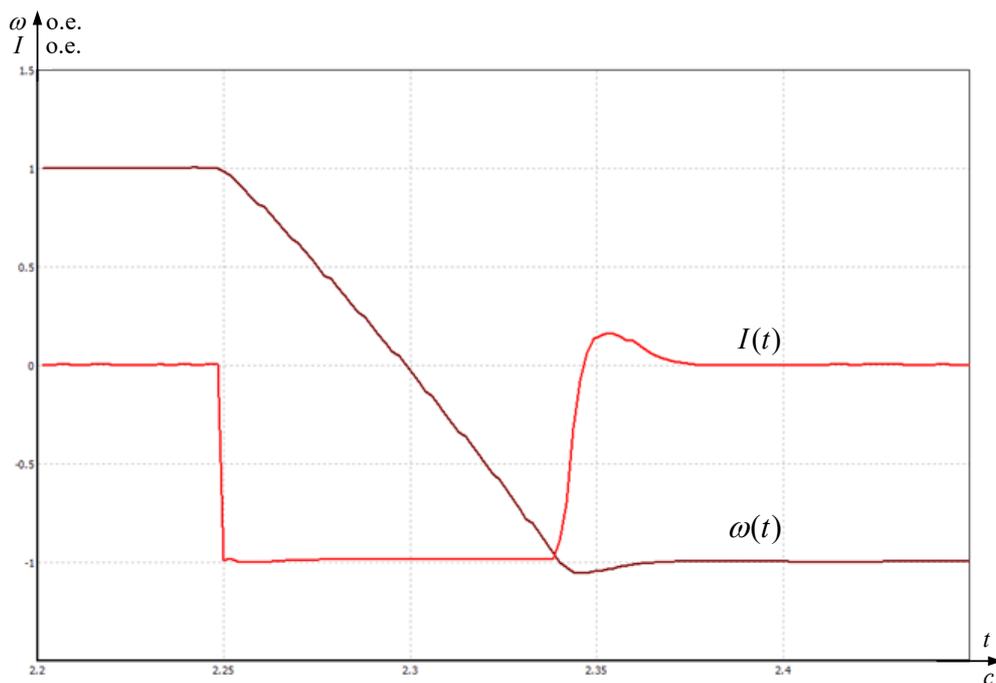


Рис.37. Реверс при работе без нагрузки

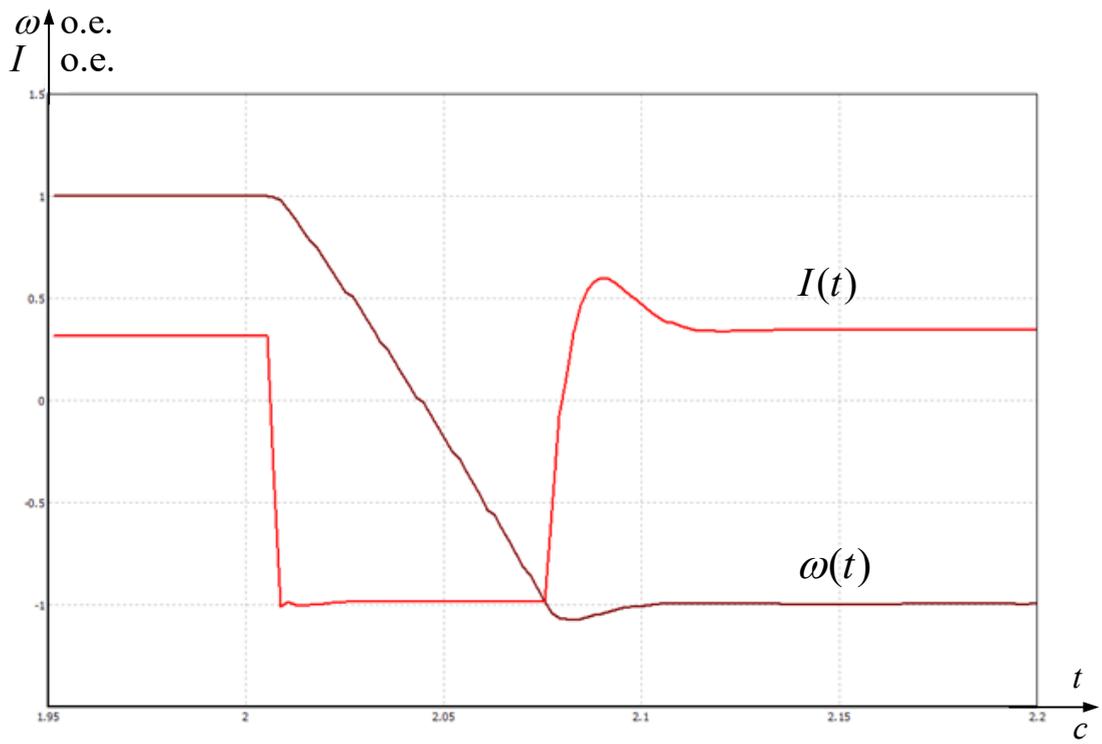


Рис.38. Реверс при работе под нагрузкой

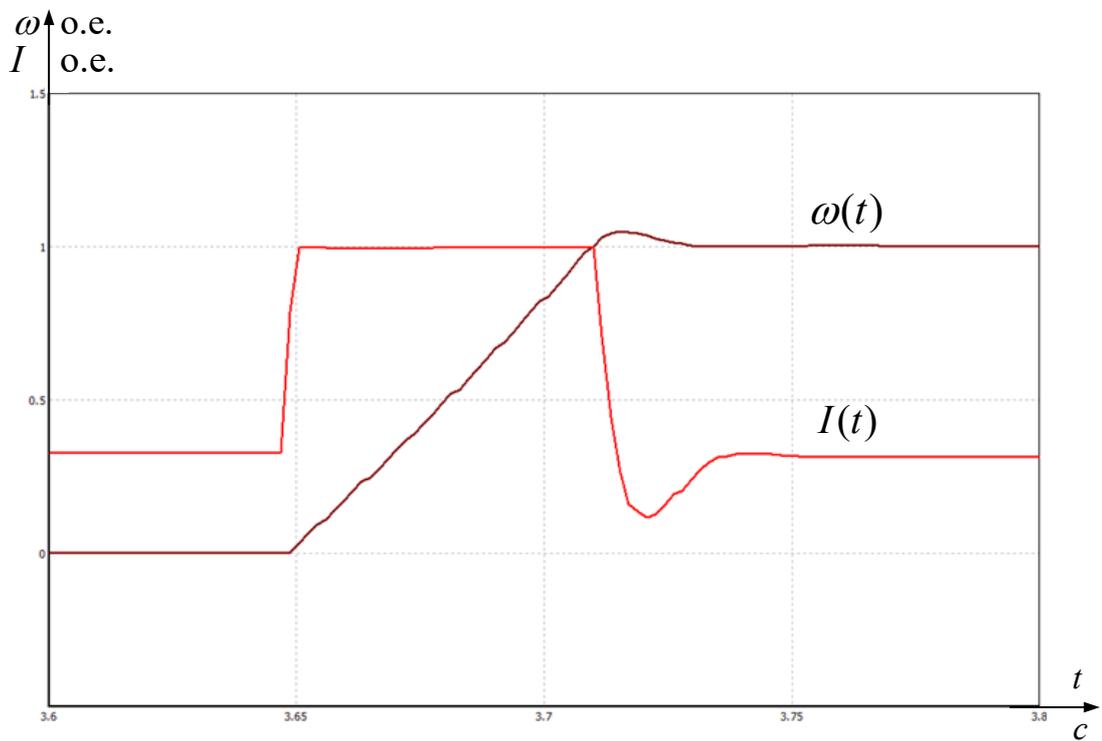


Рис.39. Пуск под нагрузкой

6. Создание и проверка защит

При разработке системы управления могут быть допущены ошибки, приводящие к образованию тока, вредного для силового модуля и двигателя. Поэтому перед проверкой системы управления, созданной на стойке, [6]

- постоянный ток слишком велик;
- превышать максимальный ток фазы А;
- превышать максимальный ток фазы В;
- Перенапряжение в шине постоянного тока (более 100 В).

Защита должна выполняться на частоте основного прерывания и обрабатываться сразу после получения сигнала обратной связи. В случае возникновения чрезвычайной ситуации необходимо: Запретить формирование ШИМ, сбросить настройки контроллера системы управления (запретить формирование опорных сигналов). Также необходимо подробно записывать события и отображать их на виртуальной панели управления.

Создаем систему защиты в формуле «Protect» основного поля набора. Начальная схема защиты показана на рисунке 40.

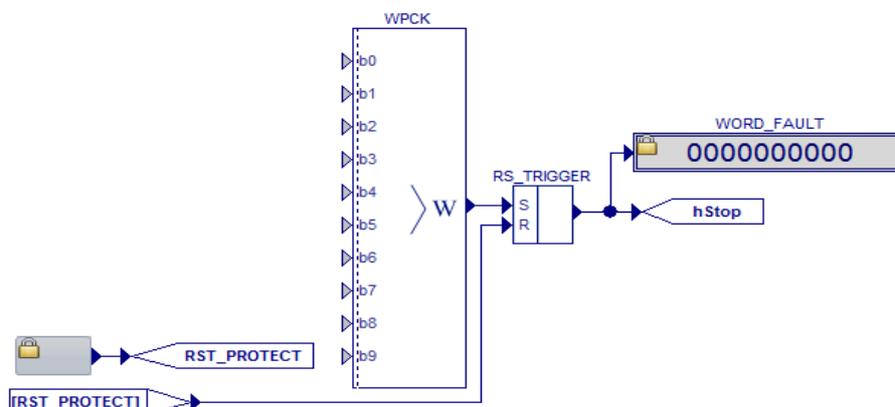


Рис.40. Начальная схема защиты

Авария отправляется в 16-битный в 2-байтовый блок преобразования WPK. Для решения проблемы аварий на выходе установлен блок

RS_TRIGGER, а его выход подключен к hStop. Защита от перегрузки по току реализована в типе защиты блока FGE числовой логики и блока T_DELAY_ONOFF задержки включения и выключения (рисунок 41).

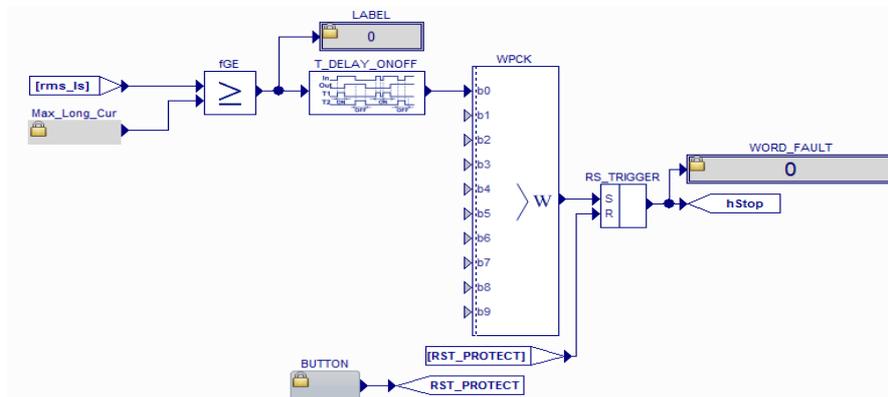


Рис.41. Защита по превышению длительного тока

Установка Max_Long_Cur = 6 означает, что двигатель будет работать при 6 А в течение 5 секунд, а затем защита отключится.

Если высокий выходной FGE длится некоторое время, Указанный в параметре Time_Del_ON блока T_DELAY_ONOFF, Затем он появится на выходе блока T_DELAY_ONOFF, Подготовлено RS_TRIGGER.

Когда поступит сигнал от hStop, система управления остановится. Эта защитная мера предотвращает перегрев двигателя из-за постоянного тока.

На рисунке 42 показана схема защиты от перегрузки по току. Текущий сигнал подается в модуль расчета модуля сигналов fABS в абсолютных единицах и сравнивается со значением Max_Pik_Cur. Если ток в определенный момент времени превышает значение Max_Pik_Cur, срабатывает защита.

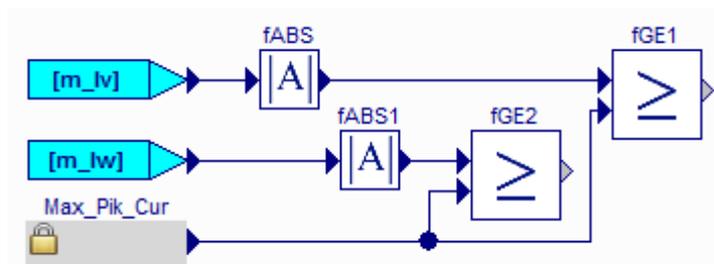


Рис.42. Защита от превышения максимального тока

Далее мы создаем защиту от перенапряжения в цепи постоянного тока (рисунок 43).

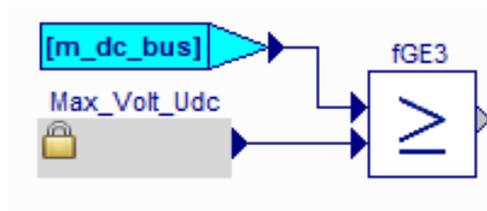


Рис.43. Схема защиты от превышения напряжения в звене постоянного тока.

Напряжение шины постоянного тока подается на вход модуля fGE, Когда значение Udc превышает значение Max_Volt_Udc, оно обеспечивает высокий уровень и защиту от запуска. Функция защиты может сохранить конденсатор шины постоянного тока в случае отказа тормозного резистора.

Инвертор MBS-FC01 имеет аппаратную защиту IGBT-модуля, независимого от ветви дискретного процессора, В случае аварии будет произведен высокий уровень. Защита подключается через готовый шаблон IGBT_FAULT.

Итоговый вид схемы защит представлена на рисунке 44.

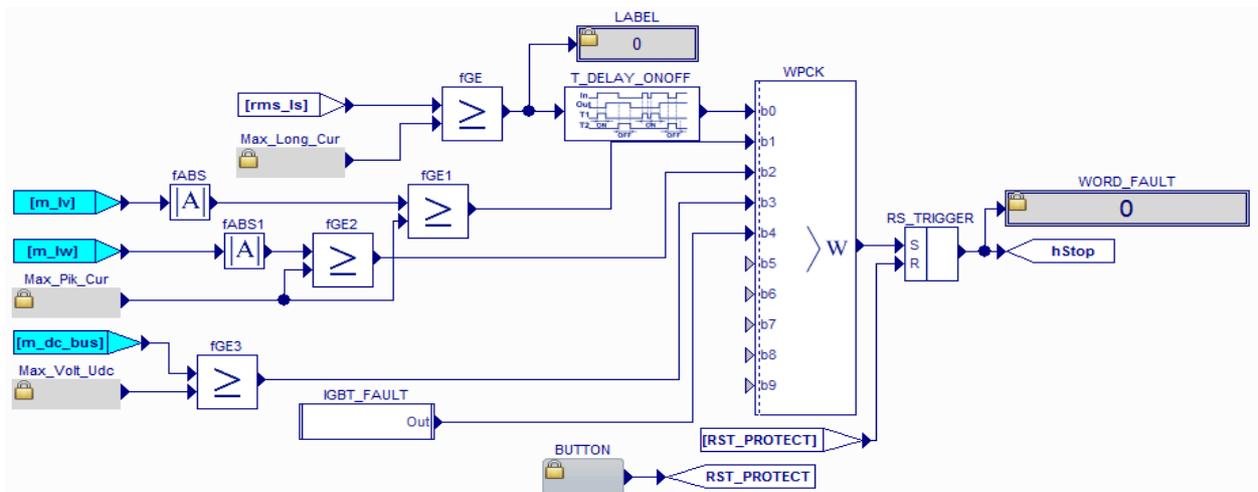


Рис.44. Схема защиты в MexBIOS Development Studio

Далее активизируем в пульте управления панель сведений о работе системы управления и сброс аварии.

7. Проведение испытаний на экспериментальном стенде

Целью данной работы является создание универсальной системы управления, Поэтому мы будем использовать бытовой постоянный магнитный

двигатель DCM71 G-2.2-1500-1-D-UHL-3 IM3281 IC49 380 В на платформе обучения типа 4 для проверки работоспособности разработанной системы управления. На стенде использовался инвертор MBS-FC01 с открытой программной платформой на основе микроконтроллера TMS320F28335 производства Texas Instruments.

Произведем пуск двигателя с заданием 300 об/мин (рисунок 45).

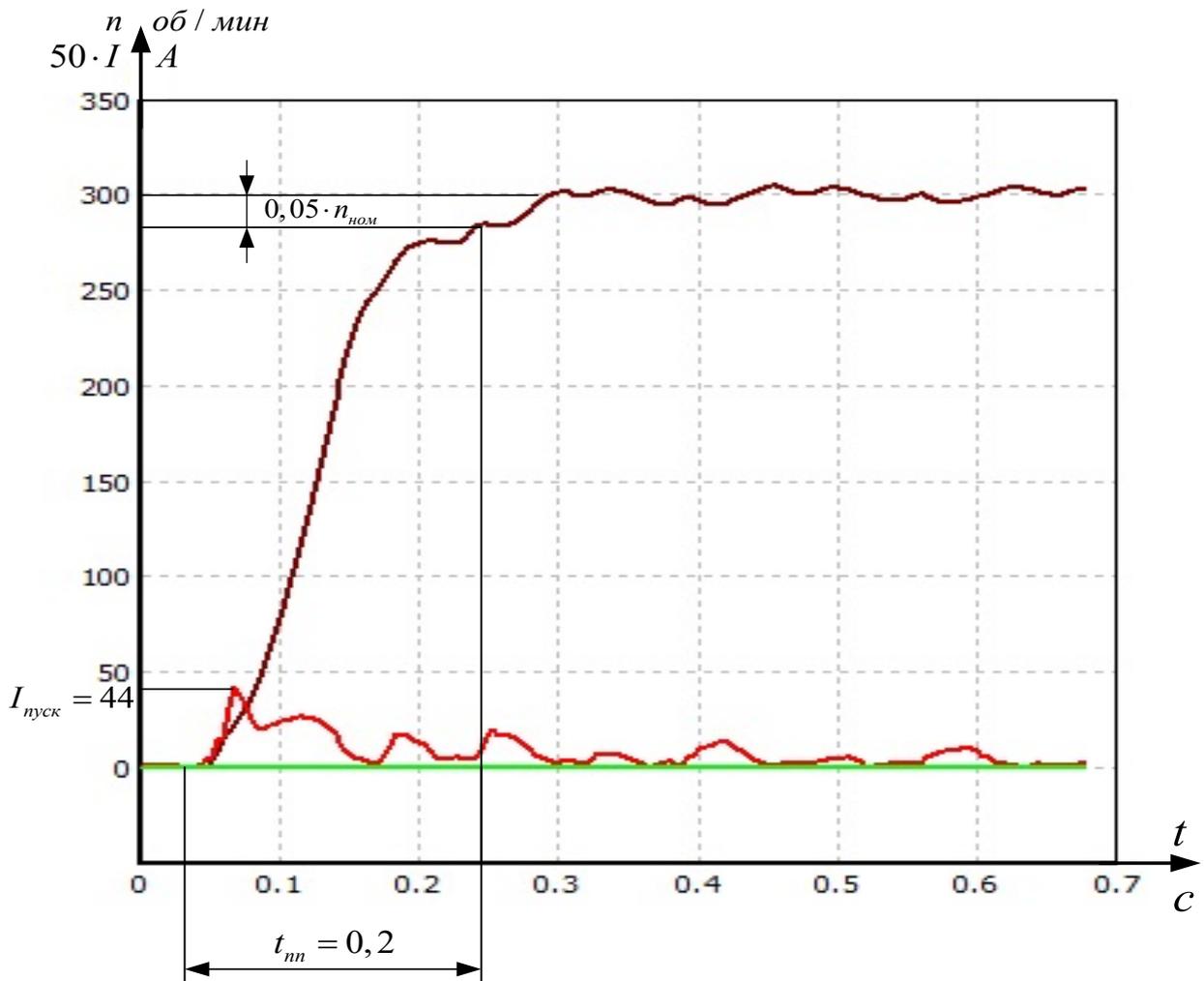


Рис.45. График переходного процесса при пуске двигателя с заданием 300 об/мин

Произведем пуск двигателя с заданием 500 об/мин (рисунок 45) и реверс с 300 об/мин (рисунок 46).

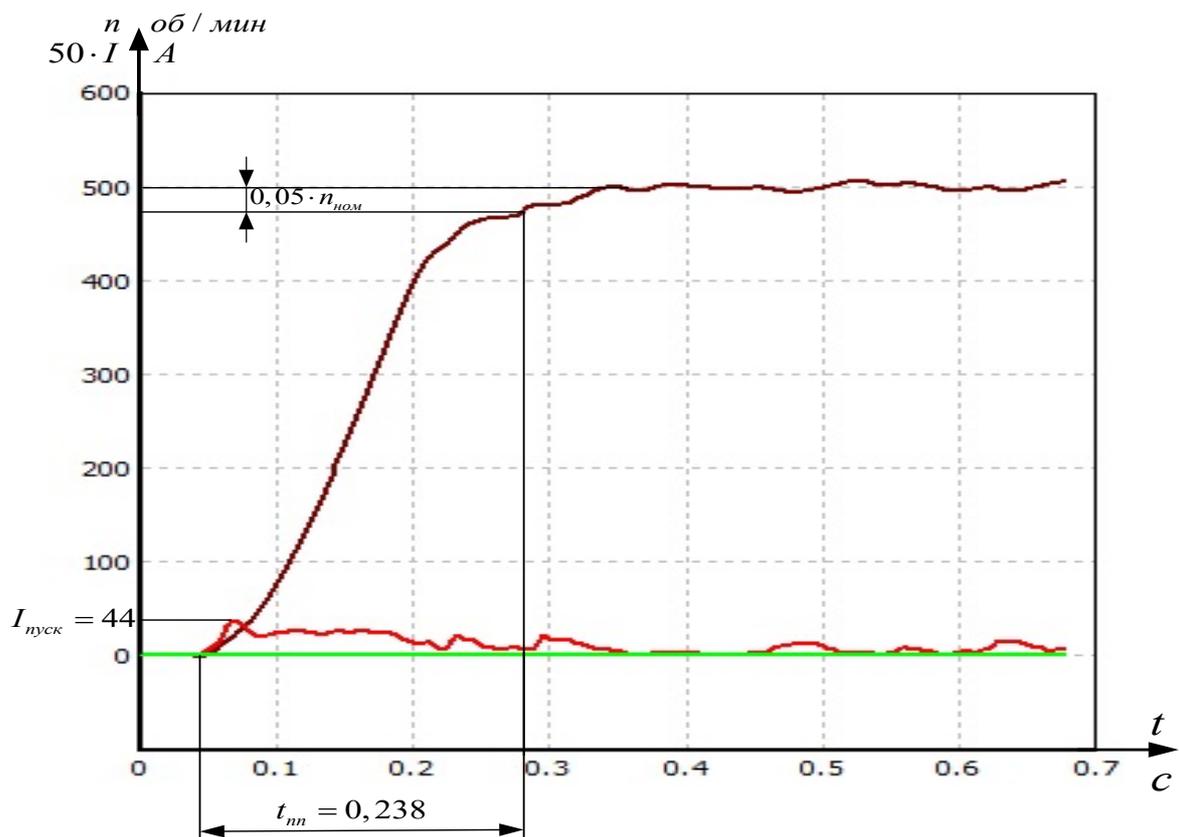


Рис.46. График переходного процесса при пуске двигателя с заданием 500 об/мин

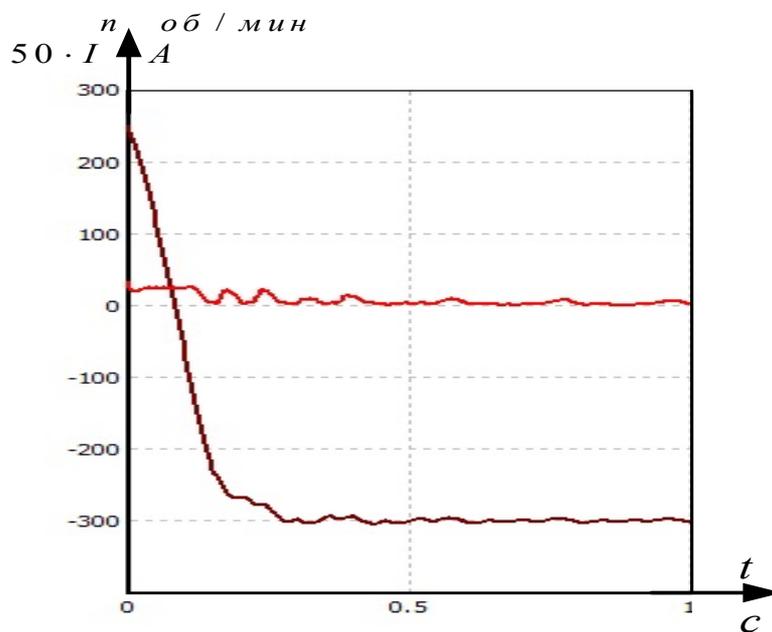


Рис.47. График переходного процесса при реверсе двигателя.

А так же снимем график переходного процесса при позиционировании вала ротора. Результат приведен на рисунке 48.

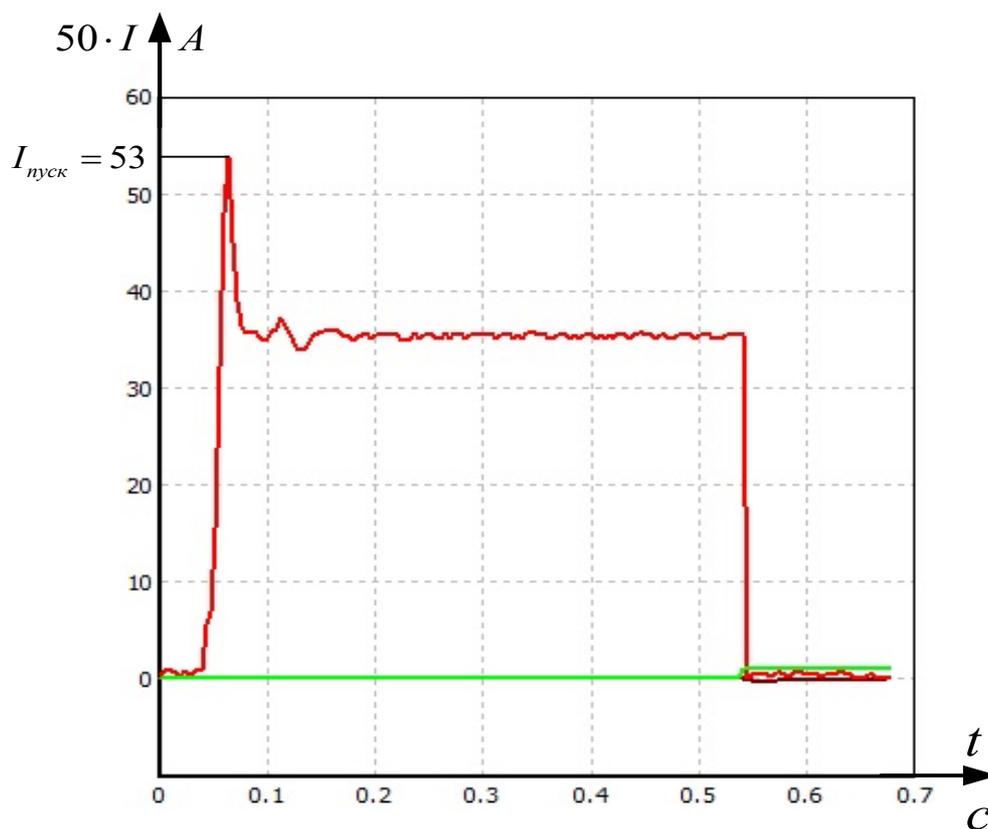


Рис.48. График переходного процесса при выравнивании вала ротора.

По полученным результатам видно, что система управления обрабатывает задания плавно и достаточно быстро. Шумы тока обусловлены шумами в АЦП. Повышение быстродействия системы возможны путем более точной настройки регуляторов и фильтров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была разработана и исследована микропроцессорная система управления синхронным электродвигателем с постоянными магнитами, выбран серво контроллер и электродвигатель, разработана схема управления синхронным двигателем в программной среде MexBIOS, там же были получены переходные характеристики двигателя по моменту и по скорости, при пуске и набросе нагрузки на вал машины.

Проведено имитационное моделирование скалярного режима работы, скоростного, токового и моментного с датчиками, также было исследовано влияние коэффициентов регуляторов системы управления

В экономической части выпускной квалификационной работы исследованы вопросы планирования, определение ресурсной (ресурсосберегающей), бюджетной, финансовой, социальной и экономической эффективности научно технического исследования, расчет материальный затрат, расчет показателя конкурентно способности, расчет бюджета для научно-технического исследования. В разделе безопасности и экологичности проекта, рассмотрены вопросы: промышленной безопасности, техники безопасности, анализ опасных и вредных производственных факторов, пожарная и электробезопасности, рассмотрены мероприятия по охране окружающей среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. [Электронный ресурс]-Сервоприводы издание 09/2006 11322853/RU
URL:
<https://fizikak.ru/motor-reduktori--industrialenie-reduktori--privodnaya-elektron/index9.pdf>
2. Вольдек А.И. Электрические машины: учеб. для вузов. – 2-ое изд., перераб. и доп. - Л.: Энергия, 1974.
3. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учеб. для студ. вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов. – М.: Академия, 2005. – 304 с.
4. Усынин Ю.С. Системы управления электроприводов: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Челябинск: ЮУрГУ, 2004 – 328 с.
5. Глазырин А.С. Математическое моделирование электромеханических систем. Аналитические методы: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 206 с.
6. А.С. Каракулов, Д.С.Аксенов, Б.В.Арещенко, В.С. Саидов Разработка программного обеспечения для систем управления электрическими двигателями: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТУСУР, 2007. – 261 с.

8. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

8.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

В настоящее время эффективная разработка мероприятий по предупреждению аварийных ситуаций на объекте энергетики играет огромную роль. Своевременное предупреждение аварий и осуществление контроля на предприятиях позволяет избежать негативных последствий.

Суть бакалаврской работы по теме: «Разработка мероприятий по повышению безопасности котельного хозяйства» заключается в разработке и усовершенствовании организационных мероприятий по обеспечению безопасности персонала объекта и населения сопредельных территорий, исходя из изучения причин и факторов, способствующих возникновению аварий на котельном хозяйстве кабельного предприятия находящегося на территории города Томска.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является разработка и усовершенствование мероприятий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Задачами, обеспечивающими реализацию поставленной цели, являются: выполнение анализа конкурентных технических решений, составление структуры работ в рамках научного исследования, определения трудоемкости выполнения работ, разработку графика проведения научного исследования, составление бюджета НИИ (материальные затраты, основная заработная плата, дополнительная заработная плата, накладные расходы и т.д.), а также определение социальной и экономической эффективности исследования.

8.2 Потенциальные потребители результатов исследования

С экономической точки зрения не всегда выгодно проводить мероприятия по предупреждению аварийных ситуаций, гораздо дешевле ликвидировать последствия уже произошедших аварий.

На сегодняшний день потенциальными потребителями услуг в сфере разработка мероприятий по предупреждению аварийных ситуаций выступают заводы, организации (юридические лица).

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

Сегментирование рынка услуг по использованию методики оценки рисков можно выполнить по следующим критериям: размер объекта электроэнергетики – мероприятие по повышению безопасности (Таблица 1).

Таблица 1 – Карта сегментирования рынка услуг

Мероприятие	Размер предприятия		
	Крупное	Среднее	Мелкое
Модернизация контроля технологических процессов	1,2,3	1,2,3	1,2,3
Совершенствование контроля состояния технологического оборудования	1,2,3	1,2,3	1,2,3
Выбор и совершенствование средств автоматического отключения	1,2,3	1,2,3	1,2,3

1 – производственные котельные, 2 – энергетические котельные, 3 – котельные жилищно-коммунального хозяйства.

Стоит отметить, что привлекательной в будущем остаётся ниша энергетических предприятий, которая будет обслуживать крупные организаций.

8.3 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное

исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

В таблице 2 представлена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		БВ	БФ	БД	КВ	КФ	КД
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда пользователя	0,025	5	4	4	0,125	0,1	0,1
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,003	4	3	3	0,012	0,009	0,009
Помехоустойчивость	0,018	4	3	3	0,072	0,054	0,054
Энергоэкономичность	0,029	5	4	4	0,145	0,116	0,116
Надежность	0,111	5	5	4	0,555	0,555	0,444
Уровень шума	0,012	4	3	4	0,048	0,036	0,048
Безопасность	0,281	5	5	4	1,405	1,405	1,124
Потребность в ресурсах памяти	0,015	4	3	4	0,06	0,045	0,06
Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,012	5	4	5	0,06	0,048	0,06
Простота эксплуатации	0,08	5	4	3	0,4	0,32	0,24
Качество интеллектуального интерфейса	0,13	4	4	3	0,52	0,52	0,39
Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,016	5	5	5	0,08	0,08	0,08
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,031	4	4	4	0,28	0,28	0,28
Уровень проникновения на рынок	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
Цена	0,006	5	3	3	0,03	0,018	0,018
Предполагаемый срок эксплуатации	0,045	5	4	3	0,225	0,18	0,135
Послепродажное обслуживание	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
Финансирование научной разработки	0,04	4	4	3	0,16	0,16	0,12
Срок выхода на рынок	0,004	4	4	4	0,016	0,016	0,016
Наличие сертификации разработки	0,012	5	4	5	0,06	0,048	0,06

Итого	1	91	77	75	4,697	4,274	3,668
--------------	----------	-----------	-----------	-----------	--------------	--------------	--------------

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \times B_i$$

где К – конкурентоспособность вида;

V_i – вес критерия (в долях единицы);

B_i – балл каждого вида транспорта (по пятибалльной шкале).

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Данное исследование способно заинтересовать партнеров и инвесторов, завоевать доверие потребителей, потому что технические решения отличаются высоким уровнем качества, удобства в эксплуатации, широким спектром мероприятий и нестандартным набором свойств, интересующих покупателя.

8.4 Swot-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Для того что бы найти сильные и слабые стороны, вероятностного метода и методов-конкурентов проведем SWOT-анализ. (Таблица 3)

Таблица 3 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны</p> <p>С1. Высокий уровень проникновения на рынок</p> <p>С2. Функциональная мощность</p> <p>С3. Предъявленная безопасность и надежность</p> <p>С4. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями</p> <p>С5. Экологичность</p>	<p>Слабые стороны</p> <p>Сл1. Недостаток средств финансирования</p> <p>Сл2. Низкий уровень послепродажного обслуживания</p> <p>Сл3. Низкая квалификация у потенциальных потребителей</p> <p>Сл4. Отсутствие системы мотивации персонала</p> <p>Сл5. Недостатки рекламной</p>
--	---	---

	технологии	политики
Возможности: В1. Разорение и уход предприятий-конкурентов В2. Выход на новые сегменты рынка В3. Внедрение инноваций В4. Повышение стоимости конкурентных разработок В5. Расширение спектра услуг	Высокий уровень проникновения на рынок, функциональная мощность и более низкая стоимость производства даст возможность в будущем вытеснить конкурентов. Из-за приемлемых цен мы сможем выйти на новые сегменты рынка.	Внедрение инноваций в разработки, а также расширение спектра услуг в дальнейшем даст возможность получить большую прибыль и устранить недостаток средств финансирования.
Угрозы: У1. Появление новых конкурентов У2. Отсутствие спроса на новые технологии У3. Задержка финансирования разработки У4. Выход на рынок иностранных компаний У5. Высокий уровень налогов на предоставляемые услуги	Удержание высоких позиций на рынке и функциональная мощность позволит погасить конкурентов, а низкая стоимость и экологичность разработок превысит запросы в иностранных компаний.	С помощью повышения послепродажного обслуживания пытаться завоевать доверие потребителей, тем самым повысить спрос на новые технологии.

Таким образом, разрабатываемый проект обладает высоким уровнем проникновения на рынок, низкой стоимостью производства по сравнению с другими технологиями и экологичность технологии, что покрывает угрозы, которые могут возникнуть в ходе реализации

8.5 Планирование научно-исследовательских работ

8.5.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в следующем порядке:

1. Определение структуры работ в рамках научного исследования.
2. Определение участников каждой работы.
3. Установление продолжительности работ.
4. Построение графика проведения научных исследований.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Выбор темы выпускной квалификационной работы	Руководитель
	2	Составление календарного плана написания выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент
Теоретическая подготовка	3	Подбор литературы для написания выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент
	4	Изучение, анализ, систематизация информации для выполнения выпускной квалификационной работы	Студент
	5	Написание теоретической части выпускной квалификационной работы	Студент
Проведение расчетов и их анализ	6	Подведение промежуточных итогов выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент
	7	Выполнение практической части выпускной квалификационной работы	Студент
	8	Анализ полученных результатов	Студент
Обобщение и оценка результатов	9	Подведение итогов выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент
	10	Согласование и проверка работ с научным руководителем	Руководитель, студент

Таким образом, выделили основные этапы работ и их содержание, а также исполнителей, выполняющие данные работы.

8.5.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

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

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяем продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитываем параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}$$

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

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

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

8.5.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Гантта – 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:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}$$

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.

Коэффициент календарности в 2020 году составил:

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 118} = 1,48$$

Для определения календарных дней выполнения работы необходимо воспользоваться следующей формулой:

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

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

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

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

Таблица 5 – Временные показатели проведения научного исследования

Название Работы	Трудоемкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{ож i}$, чел-дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
Выбор темы выпускной квалификационной работы	1	1	1	3	3	3	2	2	2	Руководитель	2	2	2	2	2	2
Составление календарного плана написания выпускной квалификационной работы	2	2	2	4	4	4	3	3	3	Руководитель, студент	1	1	1	1	1	1
Подбор литературы для написания выпускной квалификационной работы	7	6	6	14	12	12	10	8	8	Руководитель, студент	5	4	4	7	6	6
Изучение, анализ, систематизация информации для выполнения выпускной квалификационной работы	10	10	10	15	15	15	12	12	12	Студент	12	12	12	18	18	18
Написание теоретической части выпускной квалификационной работы	13	13	13	19	19	19	15	15	15	Студент	15	15	15	22	22	22
Подведение промежуточных итогов выпускной квалификационной работы	6	5	5	12	10	10	8	7	7	Руководитель, студент	4	3	3	6	4	4
Выполнение практической части выпускной квалификационной работы	9	9	9	16	16	16	12	12	12	Студент	12	12	12	18	18	18
Анализ полученных результатов	14	14	14	17	17	17	15	15	15	Студент	15	15	15	22	22	22
Подведение итогов выпускной квалификационной работы	2	1	2	5	3	4	3	2	3	Руководитель, студент	2	1	2	3	1	3
Согласование и проверка работ с научным руководителем	2	2	2	10	10	10	5	5	5	Руководитель, студент	2	2	2	3	3	3

Таблица 6 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

№	Вид работ	Исполнители	Т _{кв} , кал.дни	Продолжительность работ												
				Февраль		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Выбор темы выпускной квалификационной работы	Руководитель	2	■												
2	Составление календарного плана написания выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент	1		■											
3	Подбор литературы для написания выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент	7		■	■										
4	Изучение, анализ, систематизация информации для выполнения выпускной квалификационной работы	Студент	18			■	■	■								
5	Написание теоретической части выпускной квалификационной работы	Студент	22					■	■	■						
6	Подведение промежуточных итогов выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент	6								■					
7	Выполнение практической части выпускной квалификационной работы	Студент	18								■	■	■			
8	Анализ полученных результатов	Студент	22										■	■	■	
9	Подведение итогов выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент	3													■
10	Согласование и проверка работ с научным руководителем	Руководитель, студент	3													■

■ – Научный руководитель

■ – Студент

8.5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

8.5.5 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта, включая расходы на их приобретение и при необходимости – доставку.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m \Pi_i \times N_{расхi}$$

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, м² и т.д.);

Π_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.).

Таблица 7 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб			Затраты на материалы, З _м , руб		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Бумага А4 80г/м ² , 500л.	шт.	2	2	2	250	300	250	500	600	500
USB Flash накопитель 2ГБ	шт.	1	1	1	500	600	400	500	600	400
Картридж	шт.	1	1	1	700	700	700	700	700	700
Шариковая ручка	шт.	2	1	2	20	20	20	40	20	40
Карандаш	шт.	1	1	1	10	10	10	10	10	10
Блокнот	шт.	1	0	1	50	0	50	50	0	50
Итого								1800	1930	1700

8.5.6 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приводится в таблице 8.

Таблица 8 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн.,			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3

1.	Выбор темы выпускной квалификационной работы	Руководитель	2			2,5	5		
2.	Составление календарного плана написания выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент	1			2,6	2,6		
3.	Подбор литературы для написания выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент	5	4	4	2,6	13	10,4	10,4
4.	Изучение, анализ, систематизация информации для выполнения выпускной квалификационной работы	Студент	12			0,1	1,2		
5.	Написание теоретической части выпускной квалификационной работы	Студент	15			0,1	1,5		
6.	Подведение промежуточных итогов выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент	4	3	3	2,6	10,4	7,8	7,8
7.	Выполнение практической части выпускной квалификационной работы	Студент	12			0,1	1,2		
8.	Анализ полученных результатов	Студент	15			0,1	1,5		
9.	Подведение итогов выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент	2	1	2	2,6	5,2	2,6	5,2
10.	Согласование и проверка работ с научным руководителем	Руководитель, студент	2			2,6	5,2		
ИТОГО							48,2	40,3	42,9

Зарботная плата научного руководителя и студента включает основную зарботную плату и дополнительную зарботную плату:

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

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

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная зарботная плата (15% от $Z_{\text{осн}}$)

Основная зарботная плата ($Z_{\text{осн}}$) научного руководителя и студента рассчитана по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \times T_p$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная зарботная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная зарботная плата работника, руб.

Среднедневная зарботная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \times M}{F_d}$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \times (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \times k_{\text{р}}$$

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

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 для г. Томска.

Месячный должностной оклад руководителя темы, руб.:

$$Z_m = 30000 \times (1 + 0,3 + 0,3) \times 1,3 = 62400 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад студента, руб.:

$$Z_m = 1988 \times (1 + 0 + 0) \times 1,3 = 2584,4 \text{ руб.}$$

Таблица 9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель темы	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	65	65
- праздничные дни	15	15
Потери рабочего времени		
- отпуск	28	0
- невыходы по болезни	0	5
Действительный годовой фонд рабочего времени	190	200

Среднедневная заработная плата научного руководителя, руб.:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{62400 \times 10,4}{257} = 2525,14 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата студента, руб.:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{2584,4 \times 11,2}{252} = 114,86 \text{ руб.}$$

Рассчитаем рабочее время:

Руководитель: $T_p = 16$ раб. дней

Студент: $T_p = 68$ раб. дней

Основная заработная плата научного руководителя составила:

$$Z_{\text{осн}} = 2525,14 \times 16 = 40402,24 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата студента составила:

$$Z_{\text{осн}} = 114,86 \times 68 = 7810,48 \text{ руб.}$$

Таблица 10 – Расчет основной заработной платы научного руководителя и студента

Исполнители	$Z_{\text{теп}}$ руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{теп}}$ руб.	$Z_{\text{дн}}$ руб.	T_p раб.дней	$Z_{\text{осн}}$ руб.
Научный руководитель	30000	0,3	0,3	1,3	62400	2525,14	16	40402,24
Студент	1988	0	0	1,3	2584,4	114,86	68	7810,48
Итого $Z_{\text{осн}}$ руб.								48212,72

8.5.7 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принимается равным 0,12;

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

$$Z_{доп} = 0,12 \times 48212,72 = 5785,5 \text{ руб.}$$

8.5.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \times (Z_{осн} + Z_{доп})$$

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

Таблица 11 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	40402,24	32826,82	35351,96	4848,27	3939,22	4242,24
Студент-дипломник	7810,48	7465,9	7580,76	937,26	895,91	909,69
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302					
Итого						
Исполнение 1	15119,51 руб.					
Исполнение 2	12635,79 руб.					
Исполнение 3	13463,70 руб.					

Накладные расходы:

$$Z_{накл} = (Z_{м} + Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб}) \times k_{нр}$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Накладные расходы составили:

$$Z_{накл}^{исп1} = [1300 + (40402,24 + 7810,48) + (4848,27 + 937,26) + 15119,51] \times 0,16 = 11266,84 \text{ руб.}$$

$$Z_{накл}^{исп2} = [930 + (32826,82 + 7465,9) + (3939,22 + 895,91) + 12635,79] \times 0,16 = 9390,98 \text{ руб.}$$

$$Z_{накл}^{исп3} = [1100 + (35351,96 + 7580,76) + (4242,24 + 909,69) + 13463,70] \times 0,16 = 10023,74 \text{ руб.}$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 12 – Расчет бюджета затрат ВКР

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты НТИ	1300	930	1100
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	48212,72	40212,72	42932,72
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	5785,53	4835,13	5151,93
4. Отчисления на социальные нужды	15119,51	12635,79	13463,70
5. Накладные расходы	11266,84	9390,98	10023,74
6. Бюджет затрат НТИ	81684,6	68004,62	72672,09

8.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где $I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{ri} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.1}} = \frac{81684,6}{81684,6} = 1; I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.2}} = \frac{68004,62}{81684,6} = 0,83; I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.3}} = \frac{72672,09}{81684,6} = 0,89;$$

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

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Таблица 13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4	4
3. Помехоустойчивость	0,15	5	3	3
4. Энергосбережение	0,2	4	4	5
5. Надежность	0,25	5	3	4
6. Материалоемкость	0,15	4	5	3
Итого	1	4,65	3,65	3,9

$$I_{p-исп1} = 0,1 \times 5 + 0,15 \times 5 + 0,15 \times 5 + 0,2 \times 4 + 0,25 \times 5 + 0,15 \times 4 = 4,65;$$

$$I_{p-исп2} = 0,1 \times 3 + 0,15 \times 4 + 0,15 \times 3 + 0,2 \times 4 + 0,25 \times 3 + 0,15 \times 5 = 3,65.$$

$$I_{p-исп3} = 0,1 \times 4 + 0,15 \times 4 + 0,15 \times 3 + 0,2 \times 5 + 0,25 \times 4 + 0,15 \times 3 = 3,9.$$

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

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{фин.р}^{исп1}} = \frac{4,65}{1} = 4,65; \quad I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{фин.р}^{исп2}} = \frac{3,65}{0,83} = 4,39; \quad I_{исп3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{фин.р}^{исп3}} = \frac{3,9}{0,89} = 4,38$$

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

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$Э_{ср} = \frac{I_{исп2}}{I_{исп1}}$$

Таблица 14 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,83	0,89
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,65	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	4,65	4,39	4,38
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,944	0,941

В ходе оценки бюджета затрат трёх вариантов исполнения научного исследования и определения интегрального финансового показателя, показателя ресурс эффективности можно сделать вывод, что рассчитанные финансовые показатели вариантов исполнения и сравнительная эффективность разработки.

Вывод по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В заключении хотелось бы сказать, что в процессе планирования проект был разделён на 10 этапов, которые распределены между руководителем и инженером. По полученным данным построили календарный план проведения проекта, выполненный на основе диаграммы Гантта.

Основной из главных частей анализа является формирование бюджета НТП, в котором отражаются расходы на проектирование в нескольких исполнениях, в частности затраты по основной заработной плате исполнителей темы – 48212,72. и дополнительной – 5785,53 руб., отчисления во внебюджетные фонды – 15119,51 руб., накладные расходы - 11266,84 руб., полный бюджет – 11266,84 руб.

На основании вышесказанного можно утверждать о большой практической значимости проекта и востребованности его. Принятые решения позволяют объекту исследования успешно конкурировать на рынке при малых денежных и временных затратах на его разработку.

9 . Социальная ответственность

Введение

Уровень решения проблем обеспечения безопасности жизнедеятельности человека в любом современном государстве может служить наиболее достоверным и комплексным критерием для оценки, как степени экономического развития, так и для оценки нравственного состояния общества. Это объясняется тем, что глубокое и всестороннее решение сложившихся проблем, порожденных научно-техническим прогрессом, требует громадных капиталовложений и высокой культуры производства, а, следовательно, под силу только экономически высокоразвитому, стабильному государству. С другой стороны, решение проблем безопасности требует активного участия всех членов общества, высокого гражданского самосознания.

Разнообразие, сложность и новизна технологий определяют, в свою очередь, многообразие, сложность и новизну проблем безопасности, причем решать их часто приходится в сжатые сроки, не прерывая производство.

Совершенствование условий труда может быть обеспечено только в том случае, когда финансовое состояние и материальное благополучие предприятия будут напрямую зависеть от состояния условий труда, уровня травматизма и заболеваемости и когда руководитель каждого уровня будет сознательно заниматься улучшением этих показателей.

В настоящей выпускной квалификационной работе ведется исследование позиционный сервопривод с синхронным электродвигателем .

Рассмотрение вопросы охраны труда и техники безопасности, связанные с работой . А также разрабатываются мероприятия по предотвращению воздействия на здоровье работников опасных и вредных факторов, создание безопасных условий труда для персонала.

9.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальные правовые нормы трудового законодательства

Государственный надзор и контроль в организациях независимо от организационно-правовых форм и форм собственности осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами.

Общественный инспектор перед началом рабочей смены проверяют рабочие места, оборудование, обнаруженные недостатки устраняют и делают соответствующую запись в журнале, позиционирование рабочих органов с высокой точностью, поэтому через полчаса и несколько час будет повторяться.

Ведение работы в организации должно быть предусмотрено коллективным договором или правилами внутреннего трудового распорядка (ст. 100 ТК РФ). Любой из упомянутых документов при этом должен содержать указания на принятую в организации продолжительность рабочей недели (без выходных, пятидневная с двумя выходными днями, шестидневная с одним выходным днем, рабочая неделя с предоставлением 73 выходных дней по скользящему графику), продолжительность ежедневной работы (смены), время начала и окончания работы, время перерывов в работе, число смен в сутки (две, три, четыре), чередование рабочих и нерабочих дней.

На объекте применяется двух бригадный график сменности. При этом ежесуточно работают одна бригада, а одна бригада отдыхает. При составлении графиков сменности учитывается положение ст. 110 ТК о предоставлении работникам еженедельного непрерывного отдыха продолжительностью не менее 24 часов.

Действующее трудовое законодательство закрепляет следующие принципы организации оплаты труда:

- за равноценный труд производится равная оплата;

- оплата труда зависит от трудового вклада работника и максимальным размером не ограничена;

- минимальный размер оплаты труда устанавливается государством и гарантируется как минимальная заработная плата за труд неквалифицированного работника, полностью отработавшего норму рабочего времени при выполнении простых работ в нормальных условиях труда;

- труд оплачивается дифференцированно в зависимости от его сложности, тяжести, вредности условий труда и т.п.;

- оплата труда конкретного работника должна быть установлена в трудовом договоре;

- формы, система и тарифы оплаты труда устанавливаются коллективными договорами и соглашениями. Кроме того, в ст. 130 ТК определена система основных государственных гарантий по оплате труда работников:

- величина минимального размера оплаты труда;

- меры, обеспечивающие повышение уровня реального содержания заработной платы;

- ограничение перечня оснований и размеров удержаний из заработной платы по распоряжению работодателя, а также размеров налогообложения доходов от заработной платы;

- ограничение оплаты труда в натуральной форме;

- обеспечение получения работником заработной платы в случае прекращения деятельности работодателя и его неплатежеспособности в соответствии с федеральными законами;

- государственный надзор и контроль за полной и своевременной выплатой заработной платы и реализацией государственных гарантий по оплате труда;

- сроки и очередность выплаты заработной платы. Исходя из тарифов, ставок, разрядов, устанавливается заработная плата.

9.2 Производственная безопасность

9.2.1. Анализ вредных и опасных факторов

Возможные вредные и опасные факторы при выполнении работы приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Возможные вредные и опасные факторы.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Основное рабочее оборудование – сервопривод с синхронным электродвигателем	1.Отклонение показателей микроклимата; 2.Превышение уровней шума; 3.Превышение уровня вибрации 4.Недостаточная освещенность рабочей зоны.	1.Опасность поражения электрическим током;	СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 СНиП II-4-79 СанПиН 2.2.4-548-96

9.2.2 Повышенный уровень шума

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды, который ухудшает условия труда, оказывая на организм вредное воздействие. Из-за шума у работающих возникает более быстрое утомление, которое приводит к снижению производительности на 10...15%, увеличению числа ошибок при выполнении операций трудового процесса и, следовательно, к повышенной опасности возникновения травм. При длительном воздействии шума снижается чувствительность слухового аппарата, возникают патологические изменения в нервной и сердечно-сосудистой системах, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности.

Работающее технологическое оборудование (моторы, двигатели, вентиляторы и т.) является источником повышенного шума и вибрации.

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

- снижение (ослабление) шума в самих источниках - в электрических машинах, станках, механизмах и других устройствах;
- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;

Для профилактики воздействия шумов необходимо проводить постоянные медосмотры и освидетельствования.

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 2.1.1.

Таблица 2.1.1. Допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										По шкале, дБА
	3	6	12	25	50	100	200	400	800	1600	
	1,5	3	25	50	00	000	000	000	000	000	

Цех	1 07	9 5	8 7	8 2	7 8	7 5	7 3	7 1	6 9	8 0
Щит управления	9 6	8 3	7 4	6 8	6 3	6 0	5 7	5 5	5 4	6 5

9.2.3 Повышенный уровень вибрации

Производственная вибрация, характеризующаяся значительной амплитудой и продолжительностью действия, вызывает у работающих раздражительность, бессонницу, головную боль, ноющие боли в руках людей, имеющих дело с вибрирующим инструментом. При воздействии общей вибрации более выражены изменения со стороны центральной нервной системы: появляются головокружения, шум в ушах, ухудшение памяти, нарушение координации движений, вестибулярные расстройства, похудение.

Большую опасность для организма представляют вибрации частотой 6-9 Гц, так как они наиболее близки к собственным частотам внутренних органов человека. При совпадении частоты вибрации и внутреннего органа произойдет резонанс, в результате чего начнётся процесс разрушения.

Технические нормы вибрации представлены в таблице 2.1.2.

Таблица 2.1.2. Нормы вибрации

Вид вибрации	Среднеквадратичная частота, Гц									
	Логарифмический уровень виброскорости, дБ									
	1	2	4	8	1	3	6	1	2	5
					6	1,5	3	25	50	00
Цех	-	1	1	1	1	1	1	-	-	-
	03	00	01	06	12	18				

Неблагоприятное действие может быть уменьшено путем сокращения времени нахождения в условиях воздействия шума, рационального режима труда и отдыха с использованием комнат акустической разгрузки.

Для виброзащиты применяются средства индивидуальной защиты для рук, ног и тела оператора. В качестве средства защиты для рук применяются рукавицы и перчатки, вкладыши и прокладки по ГОСТ 12.4.002-97 "Система стандартов безопасности труда. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний".

Виброзащитная обувь изготавливается в виде сапог, полусапог, в конструкции низа которых используется упругодемпфирующий материал (ГОСТ 12.4.024-76 "Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная виброзащитная. Общие технические требования").

9.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Правильно спроектированное и выполненное освещение на предприятии, обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности.

Естественное освещение является наилучшим видом освещения на рабочем месте. Отсутствие или недостаток естественного освещения вызывает ухудшение самочувствия, приводит к потере сна и ослаблению здоровья. Дневной свет не может обеспечить нужное освещение в течении всего рабочего дня, а также зависит от погодных условий. Поэтому цех обеспечивают естественным и искусственным освещением.

Естественное освещение должно удовлетворять СНиП II-4-79. Нормы естественного освещения установлены с учетом обязательной регулярной очистки стекол световых проемов не реже двух раз в год (для помещений с незначительным выделением пыли, дыма и копоти). Так же необходимо проводить контрольные измерения коэффициента естественной освещенности, который показывает, какая часть наружного освещения попадает на рабочие места производственного помещения, и использовать светлые отделочные материалы в помещениях. Учитывая, что солнечный свет оказывает благоприятное воздействие на организм человека, необходимо максимально продолжительно использовать естественное освещение.

Искусственное освещение в помещениях должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В качестве источников искусственного освещения применяются люминесцентные лампы. В производственных общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного

освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях отсутствия естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда. В их число входят следующие мероприятия:

- сокращение продолжительности пребывания работников в помещении без естественного освещения;
- профилактическое ультрафиолетовое облучение работников.

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов - от наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса.

В таблице 1.3 приведены нормируемые значения КЕО.

Таблица 1.3. Нормируемые значения КЕО

Характеристика выполняемой зрительной работы	Наименьший размер объекта различия, мм	Раздел зрительной работы	Значение КЕО при естественном освещении, %	
			верхнем и комбинированием	боковым
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	10	3,5
Очень высокой точности	0,15 ... 0,30	II	7	2,5
Высокой точности	0,3 ... 0,5	III	5	2,0
Средней точности	от 0,5 до 1,0	IV	4	1,5
Малой точности	от 1 до 5	V	3	1,0

«Грубая работа»	Более 5	VI	2	0,5
Работа с самосветящимися материалами и изделиями в горячих цехах		VII		
Общие наблюдения за ходом производственного процесса:		VIII		
постоянное наблюдение	-	VIIIa	1	0,3
периодическое при постоянном пребывании людей в помещении		VIIIб	0,7	0,2
периодическое при периодическом пребывании людей в помещении		VIIIв	0,5	0,1

9.2.6 Отклонение параметров микроклимата

Основными факторами, характеризующими микроклимат цеха подготовки и транспортировки нефти, являются: повышенная температура, подвижность и влажность воздуха.

Высокая температура воздуха способствует быстрой утомляемости работающего, может привести к перегреву организма, тепловому удару. Высокая относительная влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, а низкая влажность вызывает неприятные ощущения в виде сухости слизистых оболочек дыхательных путей работающего.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548 – 96 при нормировании метеорологических условий в производственных помещениях учитывают время года, физическую тяжесть выполняемых работ, а также количество избыточного тепла в помещении. Оптимальные нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4. Оптимальные нормы микроклимата

Сезон года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Средней тяжести	17 – 19	40 – 60	0,3
Теплый	Средней тяжести	20 – 22	40 – 60	0,2 – 0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с СанПиН 2.2.4.548 – 96, следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СНиП 2.04.05 – 91* (28.11.91) установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;

- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией.

9.2.7 Опасность поражения электрическим током

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека. Основными причинами воздействия тока на человека являются:

- Случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям;
- Появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции или ошибочных действий персонала;
- Шаговое напряжение на поверхности земли в результате замыкания провода на землю;
- Появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного включения установки;
- Освобождение другого человека, находящегося под напряжением;
- Воздействие атмосферного электричества, грозových разрядов.

При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), рассмотреть следующие вопросы:

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

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 [11] предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов, воздействию которых человек может подвергаться в процессе работы с электрооборудованием, составляют для установок в нормативном режиме: для постоянного тока – не более 0,8 В и 1 мА соответственно, для переменного тока (частота 50 Гц) - не более 2,0 В и 0,3 мА соответственно.

Рассматриваемый цех не имеет характеристик, свойственных особо опасным помещениям в части поражения электрическим током. Необходимо применение основных коллективных способов и средств электрозащиты: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защитное заземление и защитное отключение.

9.3 Экологическая безопасность

При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014) [34]: бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [35]. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу

опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из не адсорбирующего ртуть материала (винипласта).

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

9.4 Безопасность в ЧС

На основе анализа статистических данных об авариях на площадках работы прогнозируются следующие чрезвычайные ситуации:

- отключение электроэнергии;
- пожар в технологических установках и помещениях.

Выбранный современный комплекс технических средств обеспечивает надежность срабатывания защит, а также безопасность производства [24].

Система контроля технологических параметров позволяет уменьшить вероятность возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций, ведущих к тяжелым экологическим последствиям и возможным человеческим жертвам. Это достигается следующими функциями системы:

- контроль значений основных технологических параметров;
- оперативное предупреждение дежурного технолога об отклонениях от заданных уставок или изменениях технологических параметров;
- контроль состояния и исправность технологического оборудования;
- контроль загазованности и пожароопасности помещения.

9.4.1. Загорание (пожар)

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

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

Согласно [10], [12], [16], к некоторым мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления), применение искробезопасного оборудования, устройства молниезащиты здания, выполнения правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей, средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара, системы автоматической пожарной сигнализации, порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м³.

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

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

9.4.2 Электропоражение как возможная ЧС

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

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

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

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [17] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: УЗО и защитное заземление и зануление [17] п.413.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о

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

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

Выводы

В ходе проведения мер по социальной ответственности был произведен анализ выявленных вредных и опасных факторов. Было рассмотрено влияние на экологическую зону. Рассмотрены ЧС и приняты меры по их устранению. Ознакомились с правовыми и организационными вопросами обеспечения безопасности.

Список источников

1. ГОСТ 12.0.003-2015 (СТ СЭВ 790-77). «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
2. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» 22.
3. ГОСТ 12.1.003-2014 «Шум. Общие требования безопасности»
4. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
5. ГОСТ 12.1.004-91, ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования»
6. СП 9.13130.2009 «Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации»
7. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
8. СНиП П-12-77. «Защита от шума»
9. СНиП 2.04. 05-91. «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
10. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
11. ГОСТ 12.0.004–2004 ССБТ. «Организация обучения работающих безопасности труда»
12. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Защитное заземление, зануление»
13. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»
14. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования»
15. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств»
16. ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения электрическим током».