



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики  
Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
ООП/ОПОП Энергосберегающие режимы электротехнического оборудования  
Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА**

Тема работы				
<b>Отказоустойчивый электропривод насосной установки</b>				

УДК 62-83-027.45:621.65

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM16	Шарипов Нурулло Мурод угли		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Однокопылов Георгий Иванович	д.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна	—		

По разделу на иностранном языке:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Егорова Юлия Ивановна	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП/ОПОП,	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника	Кладиев Сергей Николаевич	к.т.н., доцент		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Профиль: «электропривод и автоматика»

Код результата	Результат обучения
<b>Универсальные компетенции</b>	
P1	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники.
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях электроэнергетики и электротехники.
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

Инженерная школа энергетики

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: «электропривод и автоматика»

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП/ОПОП

\_\_\_\_\_ Кладиев С.  
 (Подпись) (Дата) (ФИО)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
5AM16	Шарипов Нурулло Мурод угли

Тема работы:

Отказоустойчивый электропривод насосной установки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	03.02.2023 34-107/с

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <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 функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Предусмотреть мониторинг отказов типа: обрыв фазы двигателя, «не выключение» и «невключение» ключа преобразователя частоты и разработать схемные решения по выявлению отказов;</li> <li>• Обеспечить функционирование микроконтроллерной системы управления с алгоритмом восстановления работоспособности двухсекционного асинхронного электропривода;</li> <li>• Разработать схемные решения по построению отказоустойчивого электропривода для опасного производственного объекта</li> <li>• Предусмотреть функционирование</li> <li>• Электропривода с функциональным и структурным резервом.</li> <li>• Разработать имитационную модель отказоустойчивого асинхронного электропривода для исследования неполно фазных и аварийных режимов работы</li> </ul>
---	--

<p><b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b> <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор технической литературы по теме отказоустойчивого асинхронного электропривода.</li> <li>2. Моделирование асинхронного электропривода.</li> <li>3. Технические решения по построению отказоустойчивого электропривода и алгоритмы отказоустойчивого управления.</li> <li>4. Исследования аварийных ситуаций асинхронного электропривода для гибридного транспортного средства.</li> </ol> <p>Заключение</p>
<p><b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Функциональная и структурная схемы.</li> <li>2. Имитационная модель.</li> <li>3. Результаты исследований.</li> </ol>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p><b>Социальная ответственность</b></p>	<p>Мезенцева Ирина Леонидовна</p>
<p><b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b></p>	<p>Спицына Любовь Юрьевна</p>
<p><b>Раздел на английском языке</b></p>	<p>Егорова Юлия Ивановна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b></p>	
<p>Введение; литературный обзор, математическая модель, моделирования, заключение.</p>	

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

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Однокопылов Георгий Иванович	д.т.н.		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM16	Шарипов Нурулло Мурод угли		

Школа Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Уровень образования Магистратура  
 ООП/ОПОП Энергосберегающие режимы электротехнического оборудования  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники  
 Период выполнения: осенний / весенний семестр 2022/2023 учебного года

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
5AM16	Шарипов Нурулло Мурод угли

Тема работы:

<b>Отказоустойчивый электропривод насосной установки</b>
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.10.2022	Составление плана работ	4
22.12.2022	Выбор объекта исследования	6
11.03.2023	Поиск и сбор информации	10
18.03.2023	Расчет параметров структурной схемы	10
26.03.2023	Выбор электрооборудования	10
21.04.2023	Моделирование системы	10
09.05.2023	Реализация раздела финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
12.05.2023	Формирование раздела социальной ответственности	10
14.05.2023	Выполнение английской части	10
18.05.2023	Оформление результатов работы и выводы по работе	10
29.05.2023	Составление пояснительной записки	10

**СОСТАВИЛ:****Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Однокопылов Георгий Иванович	д.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:****Руководитель ООП/ОПОП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев Сергей Николаевич	к.т.н.		

**Обучающийся**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM16	Шарипов Нурулло Мурод угли		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

### «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM16	Шарипову Нурулло Мурод угли

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЭЭ</b>
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Оклад руководителя – 30000 руб. Оклад инженера – 20000 руб.</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Премимальный коэффициент руководителя 30%; Премимальный коэффициент инженера 20%; Доплаты и надбавки руководителя 30%; Доплаты и надбавки инженера 30%; Дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 1,3%.</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2 %</i>

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

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Проведение предпроектного анализа.</i>
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Определение структуры работы. Расчет трудоемкости выполнения работ. Подсчет бюджета исследования</i>
<i>3. Планирование процесса управления НИТ: структура и график проведения, бюджет, риски и закупок</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИТ</i>
<i>4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Рассчитать показатели финансовой эффективности, ресурсоэффективности и эффективности исполнения</i>

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

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

#### Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

#### Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5AM16	Шарипов Нурулло Мурод угли		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
5AM16		Шарипов Нурулло Мурод угли	
<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа энергетики</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Отделение электроэнергетики и электротехники</b>
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/ специальность</b>	13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Тема ВКР:

<b>Отказоустойчивый электропривод насосной установки</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>• Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><i>Объект исследования:</i> Отказоустойчивый электропривод насосной установки  <i>Область применения:</i> энергетика, электротехника  <i>Рабочая зона:</i> производственное помещение  <i>Размеры помещения:</i> 12x10м  <i>Климатическая зона:</i> умеренная  <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> насосной аппаратуры, блок управления и электроники, ПК  <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> смазывание подвижных частей, чистка и замена вышедших из строя частей. Работа с трубопроводом под давлением.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>• организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности          ГОСТ 12.1.012 - 2004 «Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования».          ГОСТ ИЕС 61340-5-1-2019. Защита электронных устройств электростатических явлений.          ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> <li>• Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</li> </ul>	<p><b>Опасные факторы:</b>          поражение электрическим током          статическое электричество          работа с оборудованием под давлением          движущиеся части производственного оборудования.  <b>Вредные факторы:</b>          повышенный уровень вибрации          Повышенный уровень шума от работы</p>

	<p>насоса.</p> <p>отклонение показателей микроклимата при нагреве рабочих частей насосной установки</p> <p>Недостаток искусственного и естественного освещения</p> <p>вредные вещества в составе смазок и других технических жидкостей.</p> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> защитные ограждения, использование защитных костюмов, беруши, наушники, инструктаж, вентиляция (циклон).</p> <p><b>Расчет:</b> расчет уровня шума</p>
<b>3. Экологическая безопасность <u>при эксплуатации</u></b>	<p>Воздействие на селитебную зону: шум</p> <p>Воздействие на литосферу: загрязнение отходами производства</p> <p>Воздействие на гидросферу: отходы бытовые и промышленные (смазка, отработавшие сальники и резиновые уплотнители)</p> <p>Воздействие на атмосферу: выделение микросхемы и другие комбинированные отходы, требующие утилизации на специальных полигонах или переработки перед захоронением.</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при эксплуатации</u></b>	<p>Возможные ЧС: разрушение механических вращающихся частей агрегата</p> <p>разгерметизация трубопровода, возгорание - пожары.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар.</p>
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM16	Шарипов Нурулло Мурод угли		

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Необходимо спроектировать устройство для контроля скорости прямого насоса насосной станции типа 300Д90, который будет обеспечивать режим продолжительной работы и регулировку с диапазоном  $D=3:1$ . Устройство должно поддерживать заданную частоту на нижней рабочей скорости с погрешностью не более 10%, а также предусматриваться ручное управление с пульта управления и возможность автоматического управления давлением. Электродвигатель должен быть закрытым и иметь степень защиты не менее IP54, а преобразователь - подходить для использования в помещениях с температура природного режим от 5° до 45°С и допустимая влажность составляет не более 80% относительной влажности. Система управления электроприводом должна быть легко обслуживаемой и надежной, а сеть должна соответствовать трёхфазному 6000±10% В, 50 ±1Гц.

## Содержание

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	16
<b>1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ</b> .....	21
1.1 Технологический процесс работы дожимной насосной станции.....	21
1.2 Экспликация насосной станции системы перекачки воды .....	22
1.3 Описание работы насоса и его характеристики.....	23
<b>2 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР ПО ТЕМАТИКЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА</b> ....	25
2.1 Схемотехнические решения отечественных ученых по обеспечению отказоустойчивости электропривода.....	25
2.2 Схемотехнические решения зарубежных ученых по обеспечению отказоустойчивости электропривода.....	30
<b>3. Обоснование возможных вариантов преобразователя электрической энергии</b> .....	34
3.1 Выбор преобразователя частоты .....	34
3.2 Конструктивные управления особенности .....	36
<b>4. Математическое и имитационное моделирование неполнофазных режимов вентильно-индукторного электропривода насосной установки</b> 41	
4.1. Математическая модель вентильно-индукторного электропривода насосной установки.....	42
4.2 Имитационное моделирование неполнофазных режимов вентильно-индукторного электропривода насосной установки.....	47
<b>5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	38
5.1 Портрет потенциальных потребителей.....	38
5.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	40
5.1.2. FAST- анализ.....	41
5.1.3. SWOT – анализ .....	44
6.2. Инициация проекта .....	46
5.3 Планирование научно-исследовательских работы.....	48
5.3.1. Составление перечня предполагаемых работ .....	48
5.3.2. Определение трудоемкости работ .....	50
5.3.3 Разработка календарного план-графика .....	54

5.3.4. Планирование бюджета на разработку и научное исследование .....	56
5.3.5. Материальные затраты на комплектующие.....	56
5.3.6 Бюджет затрат на разработку проекта.....	57
5.3.7. Полная заработная плата исполнителей темы .....	59
5.3.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) ....	61
5.3.8 Накладные расходы .....	61
5.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	62
6 Социальная ответственность .....	65
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности 65	
6.1.1 Организация рабочего пространства .....	66
6.2 Производственная безопасность.....	67
6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте.....	67
6.2.2 Опасные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий. ....	68
6.2.3 Статическое электричество .....	69
6.2.4 Недостаток искусственного и естественного освещения .....	70
6.2.5 Отклонение показателей микроклимата .....	70
6.2.6 Нервно-психические перегрузки, монотонность трудового процесса, зрительное перенапряжение .....	72
6.2.7 Повышенный уровень общей вибрации.....	72
6.2.8 Разрушение неисправных элементов гидропривода насоса, находящихся под давлением.....	73
6.2.9 Повышенный уровень шума.....	74
6.3 Экологическая безопасность.....	76
6.3.1 Анализ влияния объекта на окружающую среду .....	76
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	77
6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект эксплуатации и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	77
Приложение А .....	83

## Реферат

Выпускная квалификационная работа на тему «Отказоустойчивый электропривод насосной установки» содержит 112 страниц, 30 рисунков, 30 таблиц, 30 формул, 30 источников литературы.

Ключевые слова: вентильно индукторный электропривод; преобразователь частоты; неполнофазный режим; насосная станция; живучесть;

В данном исследовании рассматривается отказоустойчивый асинхронный электропривод. Для этого создана математическая модель асинхронного двигателя, проводить изучение в неполно фазном режиме работы и при обрыве фазы двигателя. Кроме того, рассмотрены возможные отказы элементов преобразователя частоты и предложены методы резервирования элементов электропривода, обеспечивающие его отказоустойчивость и характеристики живучести. Разработан алгоритм восстановления работоспособности электропривода в случае его отказа.

Исследование было проведено с помощью программ, таких как *Microsoft Office 2007*, *Mathcad 15*, *MathType 6.9* и *MatLab R2017b*.

## ВВЕДЕНИЕ

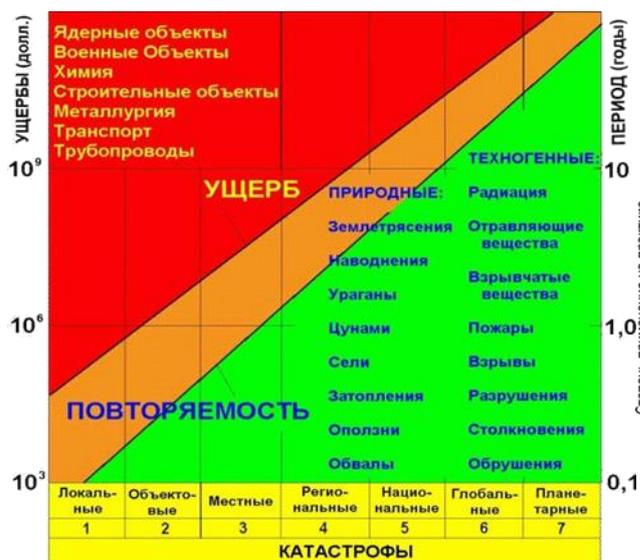
Объектом исследования является электропривод насосной установки, который обладает отказоустойчивыми характеристиками и основан на принципах вентильно-индукторного управления.

Цель данной работы заключается в проведении анализа различных методов и принципов отказоустойчивого управления электроприводом. Кроме того, создание имитационной модели позволит изучить аварийные и неполнофазные режимы работы системы. Основной задачей является разработка алгоритмов отказоустойчивого управления электроприводом. Данная система может быть применена в различных областях промышленного оборудования, включая ядерные, военные, химические, строительные, металлургические и транспортные объекты, где критически важны отказоустойчивость и надежность работы.

На опасных промышленных объектах развитие полупроводниковых технологий привело к появлению приводных систем, которые были знакомы в течение многих лет, в новой области применения. Как известно привод переменного тока является незаменимым компонентом различных объектов промышленности. Он становится более признанным за счет малой стоимости, значительных диапазонов управления и энергетических показателей, а также простоты исполнения. Проведенные исследования периодичности экстремальных случаев выявляют, что продолжительности этих аномалий и уронов составляют небольшое количество минут до десятилетий и наносят существенный ущерб для человечества, окружающей природе и всей базе жизнеобеспечения [1]

Как видно из рисунков, а и б, и в соответствии с тенденцией распространения традиционные ситуации (ТС), с 1980 года категория "надежность" сместилась в сторону обеспечения наиболее существенных

положений высокорискованный предприятие - "безопасность" и "живучесть", а с 2010 года - "риск" и "защита".



Рис, а – Ущерб и периодичность тяжелых катастроф на уникальных объектах

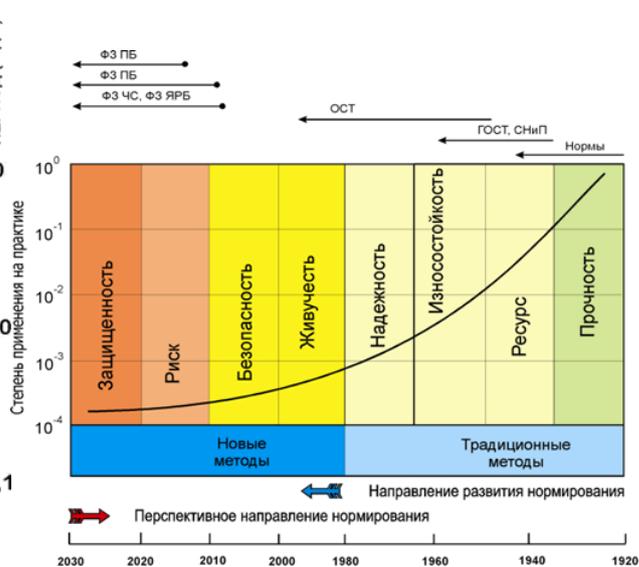


Рис б – Структура и развитие методов нормирования ТС

Электрическая машина как правила применяется самостоятельно или в совокупности с другими видами аппаратов и механизмом гарантируя функционирование электромашины с малой нагрузкой и увеличивая бережение оборудования с энергоотдачей в сеть.

Преимущества:

Экономичность.

Сохранение природа.

Повышение качества эксплуатационных показателей.

Сбережение ресурсов.

Недостатки:

Гидроудар .

Вибрации, приводящие к разрушению фундамента насосного агрегата.

Электроприводы переменного тока, как и другие агрегаты механизмы подвержены вываливанию из рабочего режима. В ситуациях, когда условия к живучести весьма большие, целесообразно принимать во внимание двухфазный вариант работы при выхода из строя ЭП

Улучшение устойчивости электродвигателя к аварийным ситуациям неотделимо от улучшения жизнеспособности электропривода, который обеспечивает нормальную работу агрегата в заданном диапазоне. Используя технологию создания резервных систем, можно достичь улучшенной жизнеспособности за счет сочетания различных типов резервирования: структурного, функционального, временного, информационного и избыточной нагрузки

Развитие систем водо- и теплоснабжения направлено на эффективное использование природных ресурсов и защиту окружающей среды. В последнее время все больше внимания уделяется созданию систем бессточного водопользования на основе замкнутых циклов при проектировании новых и реконструкции существующих систем. Главным компонентом систем водоснабжения являются насосные станции, а также горячей водой. В связи с ростом цен на энергию, данная тема проекта является особенно актуальной. [1]

## **Сокращения, термины и определения**

ВКР – выпускная квалификационная работа.

НР - научный руководитель.

ООП – основная образовательная программа.

ОПОП – основная профессиональная образовательная программа.

ГЭК – государственная экзаменационная комиссия.

ТПУ – Томский политехнический университет.

ИШЕ – инженерная школа энергетики.

НОЦ – научно-образовательный центр.

АД – асинхронный двигатель;

ТС – техническая система;

ДВС – двигатель внутреннего сгорания;

ХХ – холостой ход;

ШИМ – широтно-импульсная модуляция

ЭДС – электродвижущая сила;

ПК - персональный компьютер;

СИЗ - средства индивидуальной защиты;

ПУЭ - правила устройства электроустановок;

ПЧ – преобразователь частоты.

АСУТП – автоматическая система управления технологическим процессом.

ЭДС – электродвижущая сила.

КПД – коэффициент полезного действия.

НПП – научно-производственное предприятие.

НТИ – научно техническое исследование.

НИ – научное исследование.

НТБ – научно техническое бюро.

ПО – проектная оценка.

ТК РФ – трудовой кодекс Российской Федерации.

ОТ – охрана труда.

ПУЭ – правила устройства электроустановок.

СП – свод правил.

ГОСТ – государственный стандарт.

СанПиН – санитарные правила и нормы.

ССБТ – система стандартов безопасности труда.

СИЗ – средства индивидуальной защиты.

ПДУ – предельно допустимый уровень.

ПДК – предельно допустимая концентрация.

ЦНС – центральная нервная система.

ЧС – чрезвычайная ситуация.

ТБ – техника безопасности.

## **1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ**

Электропривод - устройство, которое передает механическую энергию вращения на насос, используя электрический ток. Трубопровод - система труб, соединенных между собой, которая служит для перемещения жидкости из одного места в другое. Запорная арматура - устройство, которое используется для перекрытия потока жидкости, а также для регулирования расхода и давления жидкости. Регулирующий клапан - устройство, которое используется для регулирования расхода жидкости и давления в трубопроводе. Контрольно-измерительные приборы - приборы, которые используются для контроля и измерения параметров работы насосной установки, такие как давление, температура, расход жидкости и т.д. Устройства управления и защиты - системы, которые используются для автоматического управления и защиты насосной установки, включая исправление аварийных ситуаций, корректировку режима работы, контроль и измерение параметров и т.д. [1/13]

### **1.1 Технологический процесс работы дожимной насосной станции**

Необходимо спроектировать устройство для контроля скорости прямого насоса насосной станции типа 300Д90, который будет обеспечивать режим продолжительной работы и регулировку с диапазоном  $D=3:1$ . Устройство должно обеспечивать поддержание заданной частоты на нижней рабочей скорости с точностью, не превышающей 10%. Кроме того, необходимо предусмотреть возможность ручного управления с помощью пульта управления, а также автоматического управления давлением. Электродвигатель должен быть закрытым и обладать степенью защиты не менее IP54, что обеспечит его защиту от пыли и влаги. Преобразователь должен быть пригодным для использования в помещениях с параметрами микроклимата от  $0^{\circ}$  до  $40^{\circ}$  С, а также допускать влажность, не превышающую 80% относительной влажности.

Требования к структуре регулирование АЭП: должна быть простой и надежной в эксплуатации, а сеть должна соответствовать трёхфазному

варианту 6000 $\pm$ 10% В, 50  $\pm$ 1Гц. И иметь функцию самодиагностики, чтобы операторы могли быстро обнаруживать и устранять неисправности.

Кроме того, для обеспечения безопасности работы насосной установки должны быть предусмотрены системы аварийного отключения при превышении допустимых значений температуры, давления или других параметров. Необходимо также иметь систему пожаротушения и аварийного снижения давления в случае пожара или другой аварийной ситуации.

Для облегчения обслуживания и ремонта насосной установки необходимо предусмотреть удобный доступ к насосным агрегатам, запорной арматуре и контрольно-измерительным приборам. Также должна быть предусмотрена возможность замены отдельных элементов с минимальными затратами времени и сил.

В целом, насосная установка должна быть надежной, эффективной и экономичной, обеспечивая непрерывную работу системы теплоснабжения города и удовлетворяя требованиям эксплуатации и безопасности. [1/16-18]

## **1.2 Экспликация насосной станции системы перекачки воды**

ОАО "Ферганаэнерго" осуществляет поставку тепловой энергии для города Ферганы с помощью ТЭЦ-1. Для повышения давления в городском трубопроводе и увеличения пропускной способности тепломагистрали установлены две группы насосов на ПНС-2. Регулирование насосов и коллекторов ПНС осуществляется с помощью соответствующей арматуры. Температура и давление теплоносителя в магистралях колеблются в зависимости от нагрузки, достигая максимального значения в ночное время. Схема ПНС-2 представлена на рис 1.1.

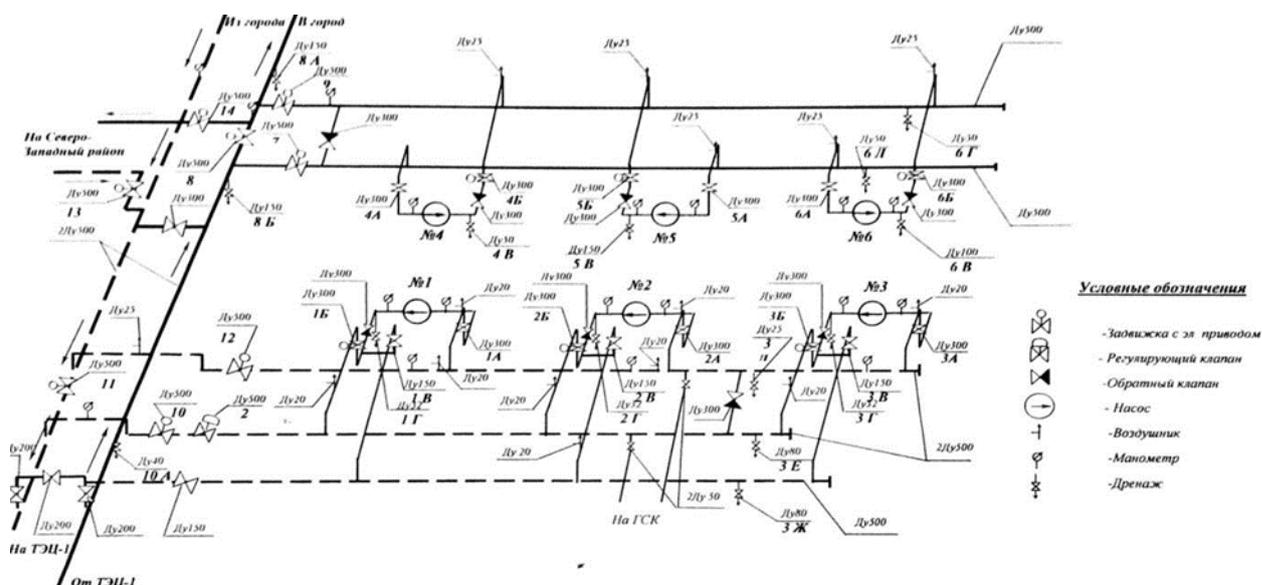


рис 1.1. Схема подкачивающей насосной станции ПНС – 2

### 1.3 Описание работы насоса и его характеристики

Насосы серии 300D обладают низким уровнем шума и вибраций. Они могут быть использованы в системах общественного водоснабжения, в системах отопления и кондиционирования воздуха, а также в системах промышленного водоснабжения.

Насосная установка на основе 300D90 может быть использована в условиях высоких нагрузок и требований к производительности. Она должна быть установлена на жестком и надежном основании, чтобы обеспечить минимальный уровень вибрации и шума.

Кроме того, необходимо обеспечить правильное подключение к системе трубопроводов, а также обеспечить достаточную вентиляцию, чтобы избежать перегрева насоса. Насосная установка должна также быть регулируемой и иметь системы контроля и защиты, чтобы обеспечить безопасность и надежность работы системы и двойной сальник для защиты от протечек. Внешний вид и параметры насоса представлены на рис 1.2 и табл. 1.1 соответственно.



рис 1.2. Внешний вид насоса типа 300Д90

Табл. 1.1 – Технические параметры насоса типа 300Д90

Тип насоса	Q, м <sup>3</sup> /час	H, м	η, %	P, кВт	$J_{НС} \frac{кг \cdot м}{с^2}$
300Д90	1080	70	88	315	9,2

Механические характеристики и габаритный чертеж представлены на рисунках 1.3 и 1.4.

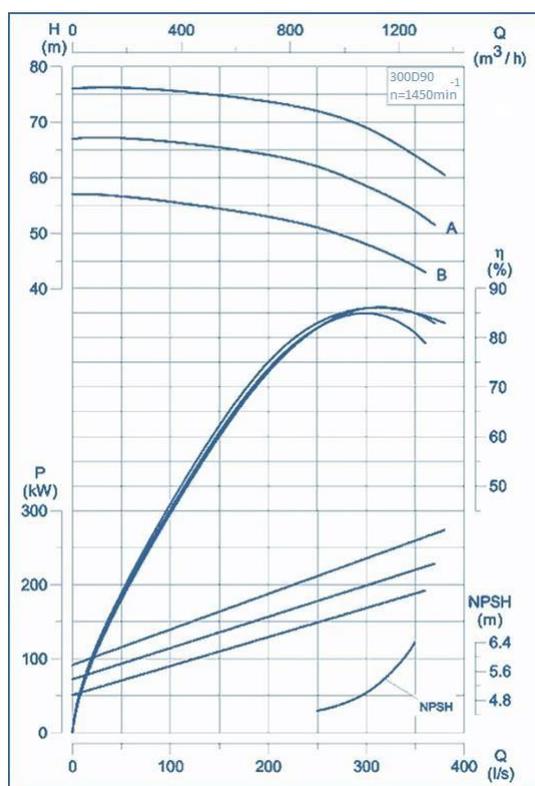


рис 1.3. Механические характеристики насоса 300Д90

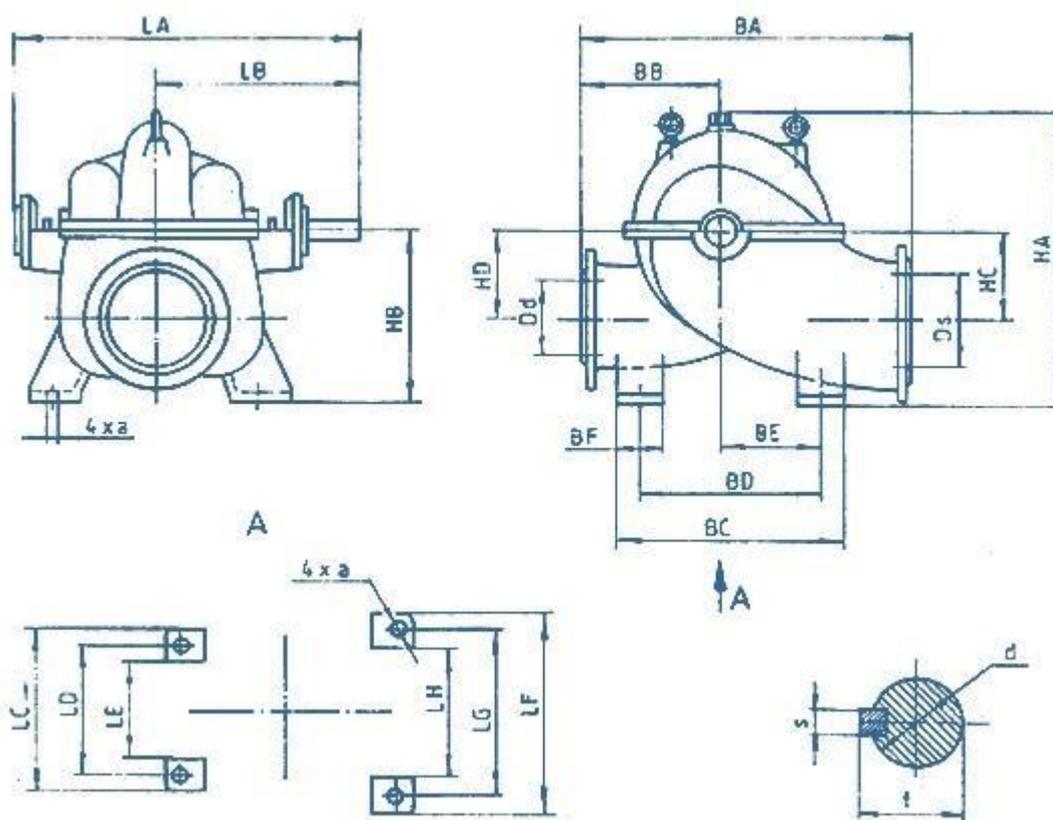


рис 1.4. Габаритный чертеж насоса 300Д90

## 2 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР ПО ТЕМАТИКЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

### 2.1 Схемотехнические решения отечественных ученых по обеспечению отказоустойчивости электропривода

#### Постановка задачи

Для проведения исследования необходимо проанализировать существующие схемотехнические решения от зарубежных ученых, которые обеспечивают отказоустойчивость при работе электропривода на двухфазном режиме. Также необходимо изучить уже известные методы обеспечения свойства живучести асинхронного электропривода. [6]

Живучесть (от английского resilience) - это способность системы сохранять свою работоспособность и эффективность при наличии дефектов, повреждений или экстремальных воздействий. Живучесть также означает способность

системы быстро восстановить свою работоспособность после возникновения непредвиденных ситуаций.

Живучесть является важным показателем качества системы, особенно технических систем, таких как машины, оборудование, инфраструктура и т.д. В контексте технических систем живучесть может означать не только способность системы сохранять работоспособность и безопасность при дефектах, но и способность быстро и эффективно восстановить работоспособность после возникновения непредвиденных ситуаций или аварийных ситуаций.

Живучесть может быть обеспечена путем использования резервных компонентов, систем резервирования, аварийного питания, систем управления, программных и аппаратных средств контроля и диагностики и т.д. Важно учитывать живучесть при разработке и эксплуатации технических систем, так как это помогает обеспечить их долговечность, безопасность и эффективность работы.

Электрические неисправности электродвигателя и питающей сети: Короткое замыкание в обмотках; Перегрузка по току; Обрывы в обмотках; Пробой изоляции; Обрыв питания; Возникновение фазного режима; Повышение потребляемой мощности; Несимметрия фаз; Падение скорости; Сброс нагрузки; Токовая несимметрия; Неправильное чередование фаз; Обрыв стержней ротора; Снижение изоляции; Изменение частоты и напряжения; Неотработка команды на пуск; Чрезмерно большая частота включений; Затянувшийся пуск; Отказ магнитного пускателя; Отказ микроконтроллера.

Все эти неисправности могут привести к прекращению работы электропривода, а в некоторых случаях - к его поломке. При возникновении электрических неисправностей необходимо немедленно принимать меры по их устранению или вызову службы технического обслуживания. Кроме того, необходимо регулярно проводить проверку и обслуживание электропривода, чтобы избежать возможных неисправностей.

Аварийный режим работы двигателя, при котором две фазы связаны, представляет серьезную опасность. Двигатель может остановиться, а если работать продолжать, то он может перегреться и выйти из строя. Поэтому использование связанных фаз в аварийном режиме недопустимо. Для обеспечения надежности в случае аварийной ситуации следует применить один из методов отказоустойчивого электропривода. [14]

Разрабатываются технические решения, основанные на схемах и алгоритмах, для обеспечения живучести электропривода.

Это действительно так. Трехфазный асинхронный электропривод считается наиболее популярным типом привода благодаря своей надежности и простоте конструкции. В хоть и качественные и надежные электроприводы все же подвержены возможности выхода из строя в случае аварийных ситуаций, таких как обрыв или короткое замыкание одной или нескольких фаз. Однако использование мехатронной системы с резервом позволяет электрическому приводу продолжать функционировать даже при отказе одной из фаз. После переключения электропривода в режим работы на двух фазах, возможно восстановление его работоспособности при помощи соответствующего алгоритма. Для этого может применяться автоматический алгоритм переключения на другую фазу, который может быть встроен непосредственно в управляющий блок электропривода.

Для восстановления работоспособности асинхронного электропривода в случае аварийной ситуации, связанной, например, с отказом одной или нескольких фаз, можно использовать следующий алгоритм:

Детектирование аварийной ситуации. Микроконтроллер должен постоянно мониторить параметры работы электропривода, такие как фазные токи, напряжения, скорость вращения и т.д. При возникновении аварийной ситуации, микроконтроллер должен получать соответствующие сигналы с датчиков и переходить в режим восстановления работоспособности.

Переключение на другие фазы. Микроконтроллер должен произвести переключение с отказавшей фазы на работу на других фазах. Для этого

необходимо использовать алгоритм переключения на другие фазы, который может быть реализован как часть программного обеспечения управляющего микроконтроллера.

Калибровка фазных токов. После переключения на другие фазы необходимо произвести калибровку фазных токов. Это позволит обеспечить правильную работу электропривода на новых фазах и избежать перегрузки двигателя.

Восстановление работы привода. После калибровки фазных токов можно вернуть электропривод в режим работы. Микроконтроллер должен переключиться с режима восстановления работоспособности на обычный режим управления, продолжив мониторинг параметров работы привода и обеспечивая его стабильную работу.

Важно учитывать, что управляющий микроконтроллер должен работать на частоте не ниже частоты ШИМ модуляции силового преобразователя, чтобы обеспечить точное управление электродвигателем. Кроме того, микроконтроллер должен иметь постоянный программный цикл, что позволит обеспечить быстрое реагирование на аварийные ситуации и эффективное восстановление работоспособности электропривода.

Для асинхронного электропривода, который использует подчиненное регулирование параметров и требует обратной связи по току для моментного двигателя с параметром регулирования  $I$ , алгоритм восстановления отказавшей фазы может быть реализован следующим образом:

Детектирование аварийной ситуации. Как и ранее, микроконтроллер должен постоянно мониторить параметры работы электропривода, такие как фазные токи, напряжения, скорость вращения и т.д. При возникновении аварийной ситуации, микроконтроллер должен получать соответствующие сигналы с датчиков и переходить в режим восстановления работоспособности.

Отключение отказавшей фазы. В данном случае, микроконтроллер должен инструктировать преобразователь частоты отключить отказавшую фазу.

Калибровка фазных токов. Как и ранее, после отключения отказавшей фазы необходимо произвести калибровку фазных токов. Это позволит обеспечить правильную работу электропривода на новых фазах и избежать перегрузки двигателя.

Перевод регулятора тока в режим насыщения. После калибровки фазных токов и перевода электродвигателя на работу на новых фазах, микроконтроллер должен перевести регулятор тока в режим насыщения для быстрого управления моментным двигателем с параметром регулирования I.

Восстановление работы привода. После перевода регулятора тока в режим насыщения можно вернуть электропривод в режим работы. Микроконтроллер должен переключиться с режима восстановления работоспособности на обычный режим управления, продолжив мониторинг параметров работы привода и обеспечивая его стабильную работу.

Датчики состояния, в свою очередь, должны опрашиваться в каждом микроконтроллерном цикле управления, чтобы микроконтроллер мог мониторить работу привода и сигнализировать о возникновении аварийных ситуаций.

Действительно, структурный резерв является важным элементом обеспечения живучести асинхронного электропривода. С его помощью можно управлять микроконтроллером и использовать элементы в резерве для восстановления работоспособности привода при отказах преобразователя частоты.

Чтобы достичь высокого уровня живучести, необходимо соблюдать ряд условий при возникновении внезапных отказов. В частности, в случае обрыва одной из фаз привода микроконтроллер должен быстро обнаружить отказ, отключить неисправную фазу и переключить работу на две оставшиеся фазы. Кроме того, при аварийной ситуации преобразователя частоты микроконтроллер должен автоматически переключить работу на резервный преобразователь. Важно также убедиться в том, что резервный преобразователь

работает на полную мощность и способен обеспечить необходимые условия для надежной и стабильной работы привода.

Таким образом, соблюдение необходимых условий и использование структурного резерва позволяют достичь высоких уровней живучести асинхронного электропривода и обеспечить его надежную работу в различных условиях.

Использование структурного резервирования и микроконтроллера с информационным резервированием является одним из способов обеспечения живучести асинхронного электропривода. Микроконтроллер, работающий на постоянном программном цикле, может контролировать работу привода и быстро реагировать на возникающие отказы.

Для контроля за состоянием привода микроконтроллер анализирует фазные токи и выдает сигналы о возникающих проблемах. При возникновении отказа, микроконтроллер может быстро переключить работу на резервный элемент и восстановить работу привода.

В работах описывается исследование асинхронного электропривода с использованием структурного резервирования и микроконтроллера с информационным резервированием. Этот подход позволяет обеспечить высокую живучесть привода и гарантировать его стабильную работу в различных условиях. [14, 15]

## **2.2 Схемотехнические решения зарубежных ученых по обеспечению отказоустойчивости электропривода**

Были изучены схемотехнические решения, предложенные иностранными учеными с целью обеспечения отказоустойчивости электропривода.

Основное внимание уделяется диагностике неисправности и обеспечению отказоустойчивости. Ž. ФЕРКОВА и J. KAŇUCH из Технического университета в Кошице разработали моделирование двухфазного асинхронного двигателя и провели измерения волновых форм токов и крутящих моментов с использованием симметричного двухфазного источника питания. Результаты

сравнили с созданными моделями в программах ANSYS Maxwell и MATLAB / Simulink. [11]

Результаты, полученные с помощью программ ANSYS Maxwell 2D и 3D, отличаются от результатов работы модели Simulink из-за того, что последняя работает с постоянными параметрами и не учитывает нелинейность материалов и потери в железе. Тем не менее, модель Simulink может быть использована для приближенного моделирования работы системы и получения общего представления о ее функционировании, при условии сравнения результатов с измерениями и другими программами. Выделение главной причины более высоких сигналов тока в модели Simulink, чем в реальности, является корректным, однако, при разработке и моделировании электрических систем необходимо учитывать все возможные факторы, влияющие на их работу, включая нелинейность материалов, потери в железе и другие факторы, для получения более точных результатов.

Выводы по разделу

- 1.→Проведен анализ и анализ методов обеспечения устойчивости электрического привода переменной мощности. Перспективно использовать функциональные и структурные резервы.¶
  - 2.→Обеспечение непрерывного мониторинга элементов частотного преобразователя, обмотки цилиндра двигателя и создание системы управления с функциональными или структурными резервами являются важными требованиями к разработанным системам векторного управления [16] и векторного управления частотами [17], [18], [19].¶
  - 3.→Проведен обзор международных исследований в сфере устойчивости, подтверждающий актуальность исследовательских работ по данной теме.¶
  - 4.→Выводы о перспективности использования функционального и структурного резервирования для обеспечения отказоустойчивости электропривода переменного тока являются актуальными и важными. Организация непрерывного мониторинга элементов преобразователя частоты и обмотки статора двигателя и соответствующей системы управления также является одним из ключевых факторов, обеспечивающих стабильную работу электропривода.¶
-

## 3 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ НАСОСНОГО АГРЕГАТА

### 3.1 Расчет параметров и построение характеристик асинхронного электродвигателям

Основываясь на технических характеристиках насоса, а в случае тока - на выбранной схеме привода. В зависимости от выбранной системы привода предварительно выбирается трехфазный асинхронный реверсивный двигатель

Асинхронные электроприводы широко используются в различных сферах промышленности и транспорта. В эксплуатации они могут столкнуться с аварийными и частично фазными режимами работы, которые могут привести к серьезным повреждениям оборудования и сокращению срока его службы. Поэтому важно уметь моделировать асинхронные электроприводы в данных режимах работы.¶

В аварийном режиме работы происходит нарушение статорного напряжения или тока, что приводит к существенному изменению системы и сильному перегреву двигателя. В зависимости от причины аварии, можно выделить несколько типов аварийных режимов, таких как короткое замыкание одной из фаз, обрыв цепи обмотки статора, короткое замыкание между фазами и т.д. Моделирование аварийного режима работы асинхронного электропривода основано на учете изменений в электрических параметрах обмоток статора и ротора, а также на учете термических эффектов, которые могут привести к перегреву двигателя.

В частично фазном режиме работы, происходит изменение параметров статорной системы таким образом, что распределение тока между фазами не является равномерным. В результате этого возникают повреждения или деформации обмоток статора, изменение магнитного поля и другие аномалии в работе двигателя. Частичный фазный режим работы может возникнуть при работе двигателя на частотном преобразователе или при наличии несимметричных сигналов в системе питания. Моделирование этого режима

работы асинхронного электропривода основано на учете различных форм сигналов и их воздействия на различные компоненты двигателя.

В обоих случаях моделирование асинхронных электроприводов в аварийных и частично фазных режимах работы требует учета множества физических параметров и их взаимодействия, что делает эту задачу достаточно сложной и требующей использования специализированных программных средств и математических методов.

### **3. Обоснование возможных вариантов преобразователя электрической энергии**

Использование частотных преобразователей предоставляет ряд значительных преимуществ. Они обеспечивают плавное и контролируемое изменение скорости вращения электродвигателя, упрощают механическую систему, повышают надежность и снижают эксплуатационные затраты. Благодаря применению частотных преобразователей, запуск двигателя становится мягким, без резких пусковых токов и ударов, что увеличивает его срок службы. Использование частотных преобразователей с обратной связью обеспечивает точное поддержание скорости вращения при изменяющейся нагрузке, что положительно сказывается на качестве производства. Кроме того, преобразователь потребляет только необходимое количество энергии для выполнения механической работы, что делает его пассивной нагрузкой для питающей сети.

#### **3.1 Выбор преобразователя частоты**

Altivar 1200 - это преобразователь частоты среднего напряжения, который отличается простотой использования и обслуживания, а также высокой надежностью. Этот прибор предназначен для контроля трехфазных двигателей (как асинхронных, так и синхронных), которые работают в диапазоне напряжения от 2.4 до 11 кВ. Для асинхронных двигателей доступны два метода управления: скалярный (на основе отношения напряжения к частоте) и векторный., а для синхронных - только скалярный ( $U/f$ ) метод управления.

Благодаря применению последнего поколения транзисторов IGBT, этот преобразователь частоты обеспечивает точное поддержание заданной скорости вращения привода.

Из программных условий выбирается преобразователь эквивалентной частоты, который должен соответствовать следующим требованиям: мощность двигателя должно быть не менее двух киловатт и не более  $P$ , а так должна находиться в диапазоне

Табл. 3.1. – Паспортные данные преобразователя частоты

Условное обозначение преобразователя частоты	Полная мощность двигателя, кВт	Расчетная мощность двигателя, кВт	Максимальный ток в установленном режиме, А		Номинальный ток инверторной ячейки, А	Количество ячеек	Максимальный ток в переходном режиме 60 с., А
			Перегрузка 120%	Перегрузка 150%			
ATV1200-A570-6060	570	477	55	44	65	15	66



Рис. 3.1. Внешний вид преобразователя частоты Altivar 1200

## 3.2 Конструктивные управления особенности

### Компактность

Достигается за счет того, что преобразователь частоты размещается в одном шкафу, что приводит к уменьшению его размеров на 30% по сравнению со стандартными преобразователями. Более того, преобразователь имеет одностороннее обслуживание, что обеспечивает удобный доступ к управляющим параметрам, Шкаф имеет сертификацию и оборудован вентиляторами на крыше, обеспечивающими степени защиты IP31, IP41 и IP42. Это гарантирует защиту трансформатора и инверторных ячеек от внешних воздействий.

### Базовая комплектация

Интерфейс преобразователя частоты включает 10-дюймовую жидкокристаллическую панель оператора и программное обеспечение для его настройки. Преобразователи частоты обладают высокой степенью надежности, а также оснащены источниками бесперебойного питания. Они также обозначены маркировкой CE, которая подтверждает их соответствие европейским стандартам безопасности и электромагнитной совместимости. Базовый комплект преобразователя частоты ATV1200 включает в себя ряд элементов защиты. К ним относятся механическая система блокировки дверей и концевые выключатели на всех дверях, а также свободно программируемые входы/выходы. При необходимости, элементы защиты могут быть настроены и адаптированы в соответствии с конкретными требованиями заказчика.

### Проверенное конструктивное решение

#### *Многоуровневая технология*

Использование топологии преобразователя частоты позволяет управлять стандартными двигателями без необходимости дополнительного оборудования, что обеспечивает быстрый возврат инвестиций. Использование многоуровневой технологии позволяет преобразователю достигать высокого качества генерируемого напряжения и эффективно управлять двигателями без необходимости применения специальных исполнений или усиленной изоляции.

Кроме того, преимущество состоит в том, что длина кабеля между преобразователем и двигателем может достигать 2000 метров, и нет необходимости подбирать специальный кабель. Малый шаг формирования кривой напряжения и низкий уровень  $du/dt$  увеличивают срок эксплуатации двигателей.

#### *Эффективная система охлаждения*

Эффективная система охлаждения, спроектированная профессионально, использует конструктивные особенности для оптимального распределения потоков охлаждающего воздуха и избегает установки дополнительных вентиляторов, которые обычно находятся в нижней части секций трансформатора и секции управления. Отказ от этих вентиляторов позволяет повысить эффективность преобразователя частоты на 0,3% и упрощает оценку экономии электроэнергии.

#### *Топология инвертора*

Для создания кривой выходного напряжения применяется топология, объединяющая двухуровневые инверторные ячейки на IGBT-транзисторах, которые широко применяются в промышленной сфере из-за высокой надежности. Модульная конструкция позволяет быстро заменить ячейку инвертора всего за несколько минут, что обеспечивает быструю и легкую техническую поддержку в случае необходимости.

#### *Охлаждение секции управления*

Охлаждение секции управления осуществляется за счет потока воздуха из общей системы, поэтому нет необходимости устанавливать дополнительные вентиляторы. Это конструкторское решение повышает надежность работы преобразователя частоты, так как обеспечивает оптимальную температуру элементов секции управления и предотвращает перегрев.

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

В рамках данной главы магистерской диссертации рассматривается экономическая целесообразность исследования отказоустойчивого асинхронного электропривода. Более 60% вырабатываемой электроэнергии в настоящее время потребляется электрическими двигателями. Среди них наиболее распространенными являются электродвигатели переменного тока, среди которых главную роль занимает асинхронный двигатель, отличающийся своей простотой и надежностью. Очевидно, что повышение отказоустойчивости неразрывно связано с живучестью электроприводов, обеспечивающих функциональные свойства технологического оборудования в заданных пределах. Обеспечить свойство живучести возможно на основе технологии построения избыточных систем, используя комбинацию следующих видов резервирования: структурного, функционального, временного, информационного и нагрузочного. Построение таких электроприводов невозможно без проведения экспериментальных исследований, разрабатываемых установок.

Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

- 1) оценка коммерческого потенциала и перспективности разработки НТИ;
- 2) планирование этапов выполнения исследования;
- 3) расчёт бюджета затрат на исследования;
- 4) оценка научно-технического уровня исследования и оценку рисков.

### **5.1 Портрет потенциальных потребителей**

Потребителями являются крупные промышленные производства, ядерных, военных, химических, строительных, металлургических и транспортных, где возникает проблема организации отказоустойчивого управления исполнительными электроприводами с обеспечением свойства живучести.

Сегментировать рынок по спектру услуг, связанных с изготовлением и обслуживанием насосной установки (НУ) в зависимости от длительности эксплуатации, можно по следующим пунктам: выпуск и реализация насосного устройства; установка нового оборудования; техническое обслуживание (табл. 5.1).

Таблица 5.1. – Сегментирование услуг, связанных с эксплуатацией НУ

Наименование услуги	Срок эксплуатации, лет			
	1	1-10		более 10
Фирмы производители НУ				
Фирмы по установке и монтажу НУ				
Фирмы по техническому обслуживанию и ремонту				



– фирма изготовитель НУ.



– сервисная компания по установке данных устройств.



– ремонтная служба.

Учитывая данные таблицы 6.1, можно сделать вывод, что при продаже установок потребителям, в период эксплуатации от 1 до 10 лет, изготовитель может иметь дополнительный доход на реализации запасных частей и комплектующих фирмам, сервисным компаниям, которые занимаются установкой, обслуживанием и ремонтом вентильно индукторного электропривода насосной установки (НУ).

### 5.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Для сравнения разрабатываемой НУ с аналогичными аппаратами других производителей, рекомендуется провести оценочный анализ, который поможет выявить сильные и слабые стороны проектов конкурентов. Его удобно осуществлять с помощью оценочной карты, в которую вносят не менее двух конкурентных разработок.

Для этого были выбраны НУ на базе инверторов:

- напряжения с последовательным колебательным контуром, производства фирмы «Пром-Индуктор» (А);
- тока с параллельным колебательным контуром и водяным охлаждением, производства фирмы «Индукция» (В);
- тока с параллельным колебательным контуром без охлаждения проектируемой модели (С).

Анализ конкурентноспособности проекта рассчитывают по выражению

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,05 \cdot 2 + 0,1 \cdot 5 + 0,05 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 = 4,85, \quad (5.1)$$

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Результаты вычисления сведены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Оценочная карта конкурентных разработок

Критерии оценки	В ес критер ия	Баллы			Конкурентно- способность		
		А	В	С	А	В	С
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Многофункциона льность	0, 2	3	4	5	0, 6	0, 8	1
Массогабаритные показатели	0, 05	5	3	5	0, 25	0, 15	0, 25

Система охлаждения	0, 3	3	2	5	0, 9	0, 6	1, 5
Проведение работ на удалении от источника питания	0, 15	0	0	5	0	0	0, 75
Работа при низких частотах	0, 05	5	4	2	0, 25	0, 1	0, 1
Экономические критерии оценки эффективности использования							
Цена установки	0, 1	3	4	5	0, 3	0, 4	0, 5
Планируемый срок эксплуатации	0, 05	5	3	5	0, 25	0, 15	0, 25
Количество потребляемой энергии	0, 1	4	4	5	0, 4	0, 4	0, 5
Итого	1				2, 95	2, 6	4, 85

Оценка по критериям проводилась экспертным путем по системе от 0 до 5 баллов, с учетом технических, энергетических, экономических и эксплуатационных особенностей каждой установки.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что разрабатываемая тока с параллельным колебательным контуром без охлаждения проектируемой модели, является наиболее конкурентно-способной по большинству критериев оценивания, т. к. обладает большим преимуществом перед другими подобными устройствами.

### 5.1.2. FAST- анализ

Его суть заключается в том, что затраты, связанные с созданием объекта, состоят из необходимых и дополнительных которые возникают из-за введения ненужных функций. Проведение включает в себя шесть стадий:

1. Объектом для FAST-анализа вентильно индукторного электропривода насосной установки.

2. Главной функцией НУ является способность получения больших токов на индукторе, за счет регулирования и преобразования параметров напряжения в блоках устройства (табл. 5.3).

Таблица 5.3 – Классификация выполняемых НУ функций

Наименование блока	Количество деталей	Выполняемая функция	Главная	Основная	Вспомогательная
преобразователь частоты (ПЧ)	1	преобразуют частоты по команде		X	
фильтр	1	сглаживает пульсации тока			X
преобразователь напряжения	1	понижает напряжение		X	
вентилятор	1	для создания воздушное охлаждение		X	
электродвигатель	1	преобразует электрическую энергию в механическую	X		

Основной особенностью НУ, является возможность достижения большой мощности на нагрузке, при потреблении меньшего количества энергии, при этом имея минимальные потери на ее передачу по кабелю от источника питания до НУ. Данное отличие дает возможность проводить термообработку металлоконструкций на удалении от установки, в труднодоступных местах,

полевых условиях, что в свою очередь облегчает большое количество задач при применении.

3. Для определения значимости выполняемых функций, используем метод расстановки приоритетов с построением матриц смежности и количественных соотношений, где их зависимости равны: 0,5, при «<» – менее значимой; 1, при «=» – одинаковых по значимости; 1,5, при «>» – более значимой (табл. 5.4, 5.5).

Таблица 5.4 – Матрица смежности

	1	2	3	4	5	6
Функция 1	=	<	>	>	<	<
Функция 2	>	=	>	>	<	<
Функция 3	>	<	=	<	<	<
Функция 4	>	<	>	=	<	<
Функция 5	>	<	>	>	=	<
Функция 6	>	<	>	>	<	=

Таблица 5.5 – Матрица количественных соотношений

	1	2	3	4	5	6	Итого		Коэффициент
Функция 1	1	0,5	1,5	1,5	0,5	0,5	5,5	5,5:35	0,15
Функция 2	1,5	1	1,5	1,5	0,5	0,5	6,5	6,5:35	0,19
Функция 3	1,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	4,5	4,5:35	0,13
Функция 4	1,5	0,5	1,5	1	0,5	0,5	5,5	5,5:35	0,15
Функция 5	1,5	0,5	1,5	1,5	1	0,5	6,5	6,5:35	0,19
Функция 6	1,5	0,5	1,5	1,5	0,5	1	6,5	6,5:35	0,19
							35		1

Учитывая полученные величины строим функционально стоимостную диаграмму (рис. 5.1).

Она позволяет выявить несоответствие между полезностью и затратами на функциях 2, 3, 4. Основной причиной диспропорции может быть высокая стоимость выбранных блоков и комплектующих: фильтра, преобразователя, инвертора.

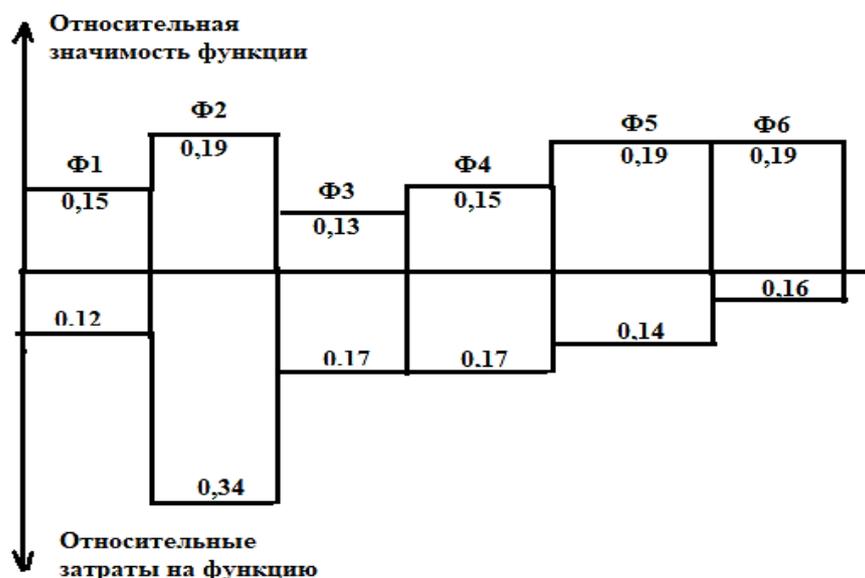


Рис.5.1 – Функциональная стоимостная диаграмма

Для снижения относительных затрат, нужно подобрать элементы с аналогичными характеристиками, но с более низкой стоимостью. Также возможно допустить превышение затрат, если оно обосновано требованиями к качеству.

### 5.1.3. SWOT – анализ

Данный комплексный анализ проекта применяется для исследования внутренней и внешней сред, и выявления сильных и слабых его сторон, возможностей и угроз.

Сильные – это факторы, характеризующие конкурентоспособность проекта.

Слабые – это недостаток, упущение или ограниченность проекта, которые мешают достижению целей.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем времени, возникающую в окружающей среде проекта. Широкое применение индукционного нагрева в различных отраслях народного хозяйства, медицине, оборонной промышленности позволит данным устройствам быть востребованными и конкурентоспособными.

Угрозы представляют собой любые нежелательные ситуации при которых произойдет изменение окружающей среды, с последующим его уходом с рынка. Сюда можно отнести повышение цен на комплектующие, появление новых

технологий термообработки, прекращение товарооборота с другими странами. Проанализированные данные представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Энергоэффективность; С2. Качество; С3. Более низкая стоимость; С4. Востребованность устройства на рынке; С5. Создание новых рабочих мест.	Слабые стороны проекта: Сл1. Повышение цены на электроэнергию; Сл2. Перебои с доставкой комплектующих; Сл3. Отсутствие рынка сбыта за рубежом; Сл4. Новые технологии; Сл5. Отсутствие специалистов.
<p>Возможности:</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса;</p> <p>В2. Повышение стоимости конкурентных разработок;</p> <p>В3. Снижение стоимости на электроэнергию;</p> <p>В4; Хорошее финансирование;</p> <p>В5. Увеличение товарооборота с другими странами</p>	<p>В1: С1, С2, С3, С4, С5</p> <p>В2: С1, С2, С3, С4, С5</p> <p>В3: С1, С2, С3, С4,</p> <p>В4: С1, С2, С3, С4, С5</p> <p>В5: С1, С2, С3, С4, С5</p>	<p>В1: Сл3</p> <p>В2: Сл1, Сл2</p> <p>В3: –</p> <p>В4: –</p> <p>В5: Сл2</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса;</p>	<p>У1: –</p>	<p>У1: –</p>

У2. Повышение цен на электроэнергию;	У2: С1, С3	У2: –
У3. Появление новых технологий;	У3: С3	У3: –
У4. Увеличение стоимости комплектующих;	У4: –	У4: –
У5. Прекращение товарооборота с другими странами.	У5: –	У5: –

## 6.2. Инициация проекта

Под ней понимают процессы для определения ее целей и задач, заинтересованные стороны, финансовые ресурсы, запланированное время и др., которые могут повлиять на общий результат вся информация прописывается в уставе проекта.

В инициации заинтересованными сторонами являются организаторы проекта (руководитель, инженер) и заказчик НПП «ЭЛСИТ» (табл. 5.7).

Таблица 5.7 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Руководитель проекта	Получение гранта на дальнейшие разработки
Инженер	Повышение по должности, участие в других исследованиях
Заказчик НПП «ЭЛСИТ»	Уменьшение финансовых и энергетических затрат при производстве НУ

Основной целью проекта является создание новой НУ с соответствующими повышенными показателями, при меньших энергозатратах (табл. 5.8)

Таблица 5.8 – Цели проекта и критерии их достижения

Цель проекта	повышение ресурсо- и энергоэффективности установки
Ожидаемые итоги	увеличение мощности установки; энергосбережение; уменьшение массогабаритных размеров; мобильность; снижение финансовых затрат.
Критерии приемки	испытание устройства; расчет материальных затрат; сравнительный анализ с подобными проектами.
Требования по выполнению	соблюдение сроков; выполнение поставленных целей и задач; ограничение по бюджету – предельно допустимые расходы средств на весь перечень затрат по проекту.

После утверждения этих этапов, создается рабочая группа исполнителей, которые участвуют в проекте и выполняют определенные функции (табл.5.9).

Таблица 5.9 – Роли и функции рабочей группы проекта

№	ФИО, должность	Роль в проекте	Функции
1	Однокопылов Г.И, руководитель	руководитель	Координация работы всех участников.
2	Шарипов Н.М. инженер	инженер	Проведение расчетов и моделирования, создание технической документации, внесение изменений по ходу работы.

При планировании исследования, могут возникнуть факторы ограничения и допущения, влияющие на реализацию проекта и сроки его выполнения

### **5.3 Планирование научно-исследовательских работы**

#### **5.3.1. Составление перечня предполагаемых работ**

Планирование проекта – это составление планов выполнения комплексов работ, определение денежных средств, необходимых для их реализации, а также трудовых и материальных ресурсов. Составим перечень проводимых работ, определив их исполнителей, а также определим количество дней, потраченных на выполнение этих работ.

Для выполнения перечисленных работ требуются следующие специалисты:

- Инженер.
- Руководитель.
- Взаимная увязка этапов работ проекта;
- Согласование выполнения отдельных этапов работ во времени, определение их трудоемкости и обеспечение их выполнения в установленные сроки;
- Определение общего объема работ и необходимых для его выполнения денежных, материальных и трудовых ресурсов.

Табл. 5.10 – Перечень работ по реализации проекта

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка тех. задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
цели исследований	2	Подбор и изучение материалов	Инженер
	3	Описание исследуемого объекта	– // –
	4	Календарное планирование работ	Руководитель
Согласование основных блоков установки	5	Создание структурной схемы	Инженер
Выбор и расчет силовой части	6	Расчет компонентов, входящих в состав разрабатываемой установки:	Инженер
Создание системы управления	7	Составление алгоритма работы	– // –
Проектирование	8	Создание электрической принципиальной схемы	– // –
Разработка технической документации	9	Имитационное моделирование, оформление чертежей	– // –

	10	Расчет затрат на разработку	– // –
Монтаж блоков УИН	11	нагрузки	Техник-монтажник
	12	Насосная установка	– // –
	13	Электродвигатель	– // –
	14	Математическая модель	– // –
	15	Моделирования	– // –
Оценка проведенных работ	16	Экспериментальная проверка и анализ результатов	Инженер Руководитель
	17	Устранение ошибок	Инженер
Сдача проекта	18	Демонстрация полученных результатов	Инженер Руководитель

### 5.3.2. Определение трудоемкости работ

Трудоемкость выполняемых при разработке проекта работ определяется по сумме трудоемкостей этапов и видов работ, оцениваемых экспертным путем в человеко-днях, и носит вероятностный характер. Одной из основных целей планирования научно – исследовательской работы является определение общей продолжительности ее проведения. В настоящее время для определения ожидаемого значения продолжительности работы  $t_{ож}$  применяются несколько вариантов использования вероятностных оценок продолжительности. Рассмотрим один из них:

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \times t_{\min\ i} + 2 \times t_{\max\ i}}{5} \quad (4)$$

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

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

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

Для определения трудоемкости выполнения проекта воспользуемся формулой:  $T_{pi} = \frac{t_{ож i}}{ч_i}$  (5)

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

$t_{ож i}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

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

Табл. 5.11 – Данные по трудоемкости работ

№	Название работы	Дол. Исп.	$t_{min.}$ $i$	$t_{max.}$ $i$	$t_c$ р	Длительность в рабочих днях, $T_{p.i}$	Длительность в календарны х днях, $T_{к.i}$
1	Составление и утверждение технического задания	Рук.	0,5	1	1	1	2
2	Подбор и изучение материалов	Инж.	1	1,5	2	2	3
3	Описание исследуемого объекта	– // –	2	3	3	3	5
4	Календарное планирование работ	Рук.	0,5	1	1	1	2
5	Создание структурной схемы	Инж.	0,5	1	1	1	2
6	Расчет компонентов, входящих в состав разрабатываемой установки:	– // –	8	10	9	9	14
7	Составление алгоритма работы сис. управления	– // –	3	4	4	4	6

8	Создание электрической принципиальной схемы	– // –	1	1,5	2	2	3
9	Имитационное моделирование, оформление чертежей	– // –	3	5	4	4	6
10	Расчет затрат на разработку установки	– // –	5	6	6	6	9
	Монтаж блока нагрузки	Тех.	2	3	3	3	5
	Сборка насосная установка	-мон	5	6	6	6	9
	Установка инвертора	– // –	3	4	4	4	6
	Компоновка ППН	– // –	3	5	4	4	6
	Введение ТРН	– // –	2	3	3	3	5
	Экспериментальная проверка и анализ результатов	– // –	1				
	Устранение ошибок	Инж . +	1	1,5			
	Демонстрация полученных результатов	Рук.	1,5	2			

Монтаж агрегата	Инж	2	1	2		
Итого		2	3	3	3	5

На следующем этапе осуществим построение линейного графика работ (рисунок 5.2), который является простым и наглядным, отражающий этапы и продолжительность выполнения каждого вида работ в сравнении между ожидаемым временем и затраченным.

Общая продолжительность НИР составила 368 рабочих дней ( $t_{\text{раб}}$ ), при этом не учитывались выходные и праздничные дни. Для учета выходных и праздников переведем рабочие дни в календарные  $t_{\text{кал}}$  - общая продолжительность НИР в календарных днях;  $t_{\text{раб}}$  - общая продолжительность НИР в рабочих днях;

### 5.3.3 Разработка календарного план-графика

Календарное планирование в управлении проектами – это ключевой и важный процесс, результатом которого является утвержденный руководством календарный план проекта (часто его называют еще планом-графиком, календарным графиком, планом управления проектом). Цель календарного планирования – получить точное и полное расписание проекта с учетом работ, их длительностей, необходимых ресурсов, которое служит основой для исполнения проекта.

Составление календарного плана-графика проекта включает в себя несколько аспектов. Должны спланировать сроки и длительности работ, определить их последовательность и взаимосвязи, подумать о необходимых ресурсах. В дальнейшем, когда проект перейдет на стадию исполнения, то есть практической реализации запланированных действий, именно по этому плану-графику мы отслеживаем ход выполнения работ. И, если что-то в проекте пойдет не так, можно, сверив с первоначальным планом проекта, внести соответствующие изменения [33].

Ниже приведем перечень работ, представленных в таблице 5.12.

Табл. 5.12 – Список работ на 2022–2023

№	Название работы	Дол. Исп.	$T_{ki}$	Продолжительность работ										
				Март			Апрель			Май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания	Рук.	2											
2	Подбор и изучение материалов	Инж.	3											
3	Описание исследуемого объекта		5											
4	Календарное планирование работ	Рук.	2											
5	Создание структурной схемы	Инж.	2											
6	Расчет компонентов, входящих в состав разрабатываемой установки	- // -	14											
7	Составление алгоритма работы сис. управления	- // -	6											
8	Создание электрической принципиальной схемы	- // -	3											
9	Имитационное моделирование, оформление чертежей	- // -	6											
10	Расчет затрат на разработку установки	- // -	9											



$$Z_M = \sum_{i=1}^m C \cdot N_{PACX.i}, \quad (5.6)$$

где  $m$  – количество видов затрат;  $N_{PACX.i}$  – количество штук каждого вида;  $C$  – цена за одну единицу каждого вида. Смета затрат представлена в таблице 5.13

Таблица 5.13 – Затраты на материалы и комплектующие

Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Цена за 1 шт., руб.	Сумма
Диодный мост MDS-200-06F-GG	шт.	1	7230,00	7230,00
Транзистор CM600HU-12H	шт.	1	9320,00	9320,00
Дроссель DCC-0500-060U	шт.	1	28400,00	28400,00
Конденсатор В43724	шт.	1	1950,00	1950,00
Дроссель ED1W-0,5/500	шт.	1	7340,00	7340,00
Диод силовой ДЧЛ333	шт.	4	10,00	40,00
Модуль IGBT CM600HU-12H	шт.	1	8746,00	8746,00
Магнитопровод ПЛ25×50-80	шт.	1	540,00	540,00
Медная трубка Ø 22 мм	метр	1,5	897,00	1345,50
Конденсатор С44AFFP5400ZA0J	шт.	1	5290,00	5290,00
Шкаф силовой	шт.	1	7000,00	7000,00
Прочие товары			6500,00	6500,00
Итого				83701,5

### 5.3.6 Бюджет затрат на разработку проекта

В данном пункте оценивается объем затрат на оплату труда исполнителям. Сумма заработной платы вычисляется в зависимости от трудоемкости работ, количества дней, а также величины окладов, тарифных ставок, премий и надбавок. Отсюда следует, что заработная плата равна

$$Z_{ЗП} = Z_{ОСН.} + Z_{ДОП.}, \quad (5.7)$$

где  $Z_{ОСН.}$  – основная;

$Z_{ДОП.}$  – дополнительная.

Основная оплата рассчитывается по формуле

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{дн.}} + T_p, \quad (5.8)$$

где  $T_p$  – продолжительность работ, раб. дн. (табл. 6.4);

$Z_{\text{дн.}}$  – средняя дневная оплата исполнителю, руб., вычисляем по выражению

$$Z_{\text{дн.}} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d}, \quad (5.9)$$

где  $Z_M$  – месячный оклад исполнителя, руб.;

$M = 11,2$  – количество месяцев работы без отпуска за год, при отпуске в 24 рабочих дня;

$F_d$  – годовой фонд рабочего времени (табл. 5.14).

Таблица 5.14 – Годовой фонд рабочего времени

Показатели рабочего времени	Количество дней
Календарное число дней за год	365
Количество нерабочих дней:	
– выходные дни	104
– праздничные дни	14
– отпуск	48
– по болезни (примерно)	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	209

Определяем месячный оклад исполнителя с учетом производственной тарифной ставки

$$Z_M = Z_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{ПР}} + k_d) \cdot k_p, \quad (5.10)$$

где  $Z_{\text{ТС}}$  – оклад по тарифной ставке, равен 16472 у обычного рабочего и 21844 у руководителя, руб.;

$k_{\text{ПР}}$  – премиальная доплата, составляет 0,15 % от  $Z_{\text{ТС}}$ , руб.;

$k_d$  – коэффициент доплат, равен 0,1 % от  $Z_{\text{ТС}}$ , руб.;

$k_p$  – районный коэффициент, имеет величину 1,3 % для г. Томска.

Используя формулы (5.6–5.9) были произведены расчеты основной заработной платы исполнителей

### 5.3.7. Полная заработная плата исполнителей темы

Расчет основной заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату по формуле ниже:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп} \quad (7)$$

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

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата ((12–20) % от  $З_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ) руководителя (ассистента) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} + Т_p \quad (8)$$

$Т_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. Дн.

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_M \times M}{F_d} \quad (9)$$

$З_M$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

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

Месячный должностной оклад работника:

$$З_M = З_{ТС} \times (1 + k_{пр} + k_d) \times k_p \quad (10)$$

где  $З_{ТС}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент равный 0,3 (т. е. 30 % от  $З_{ТС}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2–0,5;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда = 600 руб. на тарифный коэффициент и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке.

$T_p$  – рассчитывается из трудоёмкости работ

Таблица 5.15 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Р азряд	$Z_{ТС}$	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_M$	$Z_{дн}$	$T_p$	$Z_{осн}$
Руководитель	Кл.т.н.	30000	,3	,2	,3	58500	4875	0	292500
Инженер	–	20000	,3	,2	,3	39000	3250	52	819000
<b>Итого:</b>									111500

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы ведётся по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \times Z_{осн} \quad (11)$$

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

Расчёты дополнительной заработной платы приведены в таблице ниже.

Таблица 5.16 – Расчет дополнительной заработной платы

Исп.	Исполнитель	Основная заработная плата, руб	$k_{доп}$	Дополнительная заработная плата, руб
.				

1	Руководител ь	292500	0,1	35100
	Инженер	819000		2
	<b>Итого:</b>			133380

### 5.3.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (12)$$

Где  $K_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Таблица 6.17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Общая заработная плата, руб.	Отчисления, руб.
Научный руководитель	327600	98280
Инженер	917280	275184
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
<b>Итого:</b>	373464	

Согласно законодательству РФ, они являются обязательными, а именно:

- отчисления органам государственного социального страхования (ФСС);
- пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС).

### 5.3.8 Накладные расходы

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

$$Z_{\text{наклад}} = K_{\text{нр}} \times (\Sigma_{\text{статей}}) \quad (13)$$

При величине коэффициента накладных расходов в размере 16%, накладные расходы составят:

$$Z_{\text{наклад}} = 0,16 \times (53072 + 1244880 + 373464) = 267426 \quad (14)$$

Таблица 5.18 – Расчет затрат НИР

№	Наименование статьи	Сумма, руб.
1	Материальные затраты	53072
2	Затраты на оплату труда (основная и дополнительная)	1244880
3	Отчисления на социальные нужды	373464
4	Накладные расходы	267426
<b>Итого</b>		<b>1938842</b>

#### 5.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

С помощью интегрального критерия ресурсоэффективности определим ресурсоэффективность использования информационно-измерительной исследования параметров вибрации. Формула для его определения имеет следующий вид:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i \quad (15)$$

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 путём по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Таблица 5.19 – Сравнительная оценка характеристик исполнения проекта.

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка
1. Способствует росту производительности пользователя	0,2	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	5
3. Помехоустойчивость	0,15	4
4. Энергосбережение	0,15	4
5. Надёжность	0,2	5
6. Материалоёмкость	0,2	5
Итого	1	5,2

Для разрабатываемого проекта интегральный показатель ресурсоэффективности – 5,2. Полученное значение интегрального показателя свидетельствует о достаточно хорошей эффективности реализации проекта.

### **Вывод по разделу**

В данной главе произведен расчет стоимости ресурсов научно-технического исследования (НТИ), оценки инновационного потенциала НТИ, а также произведено составление плана выполнения работ.

В разделе были рассчитаны различные виды затрат, проанализирован бюджет затрат на научно-исследовательскую работу, по итогам всего проекта хотелось бы отметить, что данный проект является весьма стабильным и устойчивым, имеет минимальное количество угроз. Так же на основе исследований хотелось бы отметить, что коммерческий и инновационный потенциал данного проекта высок. Проект обладает высокой степенью новизны

и перспективностью. Для реализации данного проекта затраты минимальны, а практическая значимость весьма высока.

–определили полный перечень работ, необходимый для исследования измерения расстояния между образцами несплошностей;

–определили трудоёмкость проведения работ;

–суммарный бюджет затрат НИР составил – 1938842 руб.;

## **6 Социальная ответственность**

Процесс работы заключается в анализе методов и принципов отказоустойчивого управления асинхронным электроприводом, построение имитационной модели асинхронного двигателя (АД) для исследования аварийных и неполно фазных режимов работы. Результатом работы будет представление модели объекта исследования, анализ графиков на адекватную работоспособность, составление рекомендаций касательно работы.

Технологический процесс разработки и проверки системы управления отказоустойчивого асинхронными двигателями заключается в следующем:

- ознакомление и анализ литературы;
- создание метода разработки системы управления;
- компьютерное моделирование системы управления;
- анализ полученных результатов моделирования;
- анализ полученных результатов проверки.

В описанном технологическом процессе основным оборудованием является:

- пользовательский компьютер;
- насос;
- блок управления аппаратурой

Оборудование находится в закрытом производственном помещении, имеющим один выход и 2 окна, основная работа выполняется на персональном компьютере, с помощью которого обрабатывается вся информация. Остальная аппаратура такая как электропривод насоса и блоки управления расположены в том же помещении, но в пристройке со всеми звуко, вибро, шум изоляционными свойствами.

Цель данного раздела – создание условий для работника, общества и окружающей среды, удовлетворяющих технике безопасности, нормам санитарии, эргономики, экологической и пожарной безопасности.

### **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Согласно Р 2.2.2006-05, степень отклонения фактических уровней факторов рабочей среды и трудового процесса от гигиенических нормативов, условия труда по степени вредности и опасности соответствует 1 классу в рабочей зоне и помещении, отделённое помещение с производственным оборудованием имеет другие нормативы.

При работе в условиях, соответствующих данному классу, не применяются дополнительные меры, по специальной оценке, условий труда. На рабочее место распространяются требования и нормы Трудового кодекса РФ, Федерального закона от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ и ГОСТ 12.2.032–78 Система стандартов безопасности труда.

Согласно ТК РФ, N 197 – ФЗ работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;
- обеспечение в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя средствами коллективной и индивидуальной защиты и смывающими средствами;
- гарантии и компенсации в связи с работой с вредными и (или) опасными условиями труда;

### **6.1.1 Организация рабочего пространства**

К рабочему месту предъявляются требования по эргономике по ГОСТ 12.2.032–78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя:

- удобство при совершении работ;
- варьирование элементов рабочего места в зависимости от тяжести работ;
- учет индивидуальных особенностей работ.

Рабочее место – это часть рабочей производственной площади, оборудованная всем необходимым. Организация рабочего пространства предполагает регулярную оценку уровня шума, а также обеспечение безопасности персонала на рабочем месте.

## 6.2 Производственная безопасность

### 6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте

Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003–2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть в помещении при эксплуатации оборудования представлены в виде таблицы 1:

Таблица 1 –Возможные опасные и вредные факторы в производственном помещении

Факторы (ГОСТ 12.0.003–2015)	Нормативные документы
Опасные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
Статическое электричество	ГОСТ 12.4.124–83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования - docs.cntd.ru
Разрушение неисправных элементов гидропривода насоса, находящихся под давлением	ГОСТ Р 52543–2006 Гидроприводы объемные. Требования безопасности
Повышенный уровень вибрации;	СанПИН 1.2.3685–21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"
Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
Отклонение показателей микроклимата.	Требования к условиям микроклимата в рабочей зоне устанавливаются СанПиН 1.2.3685–21
Недостаток искусственного и естественного освещения	Требования к освещению устанавливаются СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение

Нервно-психические монотонность трудового зрительное перенапряжение	перегрузки, процесса, Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022) СП 2.4.3648–20 – Санитарно- эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления.
---	--

В данной таблице отчетливо видны все вредные и опасные факторы, которые могут возникать в ходе эксплуатации оборудования в помещении.

### **6.2.2 Опасные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.**

Основными причинами поражения электрическим током могут стать неправильная эксплуатация электрических приборов, неисправность самих приборов, повреждения электрической сети, от которой питаются, статическое электричество, возникающее при разряде на поверхности металлических изделий, используются электрические приборы, отсутствие или неисправность средств индивидуальных и дополнительных средств защиты, если они необходимы для выполнения работ.

Основными непосредственными причинами электротравматизма, являются: дефекты устройства электроустановок и защитных средств (брак при их изготовлении, монтаже и ремонте).

Основными техническими средствами защиты, согласно ПУЭ, являются: изоляция токопроводящих элементов, заземление; зануление; защитное отключение.

Типичными травмами или заболеваниями связанные с факторами на данном рабочем месте являются: ожоги кожи, вызванные контактом с током высокого напряжения, электрошок, вызывающий непроизвольное сокращение мышц, что может привести к падению и травмам, заболевания сердца, такие как аритмия, вызванные воздействием электрического тока на сердечную мышцу.

Для предупреждения поражения электрическим током необходимо проводить соответствующие организационные и технические мероприятия:

- оформление работы нарядом или устным распоряжением;

- проведение инструктажей и допуск к работе;
- надзор во время работы.

По опасности поражения электрическим током помещение, согласно ПУЭ, относится к первому классу – без повышенной опасности. И регламентируются по ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. На рабочем месте фактором электротравмы может выступать неисправная проводка самого помещения, компьютера или проводка, относящаяся к управляющей части аппаратуры в соседнем помещении.

### **6.2.3 Статическое электричество**

Статика – это дисбаланс электрических зарядов внутри материала, на его поверхности или между материалами. На него распространяется ГОСТ 12.4.124–83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования.

Факторы удара статического электричества могут включать в себя:

- Трение – при трении материалов между собой, электроны могут перейти с одного материала на другой, создавая статический заряд.
- Разряд – разряд статического заряда может произойти при прикосновении к заземленной поверхности.
- Электростатическая индукция – возникает при наличии заряженных предметов поблизости, например, при прохождении молнии.

Меры защиты и СИЗ от удара статического электричества могут включать в себя:

- Использование антистатических покрытий и материалов на рабочих поверхностях и одежде.
- Заземление – земляной провод должен быть подключен к заряженному оборудованию или поверхности, чтобы снизить опасность статического заряда.
- Использование антистатических наушников, перчаток и обуви для защиты тела от статического заряда.

- Обучение персонала – обучение персонала правильных методов обращения с оборудованием и предметами, которые могут создавать статический заряд.
- Использование мультиметров и других инструментов для проверки наличия статического заряда.

#### **6.2.4 Недостаток искусственного и естественного освещения**

Согласно СНиП 23-05-95\* уровень общей освещённости в производственном помещении при проведении исследований должно составлять 300–500 лк.

Типичными травмами или заболеваниями связанные с факторами на данном рабочем месте являются: ухудшение зрения, головные боли и мигрени, расстройства нервной системы, повышенная утомляемость и синдром хронической усталости., снижение концентрации внимания и работоспособности и другие. Для этого в помещении предусмотрены окна с естественным освещением, падающим в сторону рабочей зоны.

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях. В таблице 15 приведены характеристики рабочего помещения.

Таблица 2 –Характеристики помещения

Размеры рабочей зоны производственного помещения, м (общее)	12x10x3 метров
Размеры технологической зоны производственного помещения	5x3x3 метров
Кол. x Площадь окна, м2	2x2,8
По количеству пыли	Малое
Характеристика рабочей зоны помещения по пожароопасности	Категория А
Характеристика технологической зоны помещения по пожароопасности	Категория Е

#### **6.2.5 Отклонение показателей микроклимата**

В помещении, где выполняются работы, выполняются все условия по микроклимату, и температура не превышает более 22 С<sup>0</sup> по цельсию в любое время года, а влажность равна 60%. Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте соответствуют величинам, приведенным в таблице 2,

применительно к выполнению работ категории Ia в холодный и теплый периоды года.

Наиболее типичные профессиональные заболевания или травмы, которые работник может получить в результате воздействия фактора:

- Острое или хроническое переохлаждение (гипотермия);
- Острое или хроническое перегревание (гипертермия);
- Респираторные заболевания (пневмония, бронхит, грипп);
- Глазные заболевания (конъюнктивит, катаракта);
- Кожные заболевания (экзема, дерматит).

К основным мероприятиям по оздоровлению климата в производственном помещении относят: отопление помещений и кондиционирование воздуха.

Допустимые величины параметров микроклимата на рабочих местах для различных категорий работ в холодные и теплые периоды года приведены в таблице 5.2 по СанПиН 1.2.3685–21.

Таблица 3 – Допустимые величины параметров микроклимата на рабочих местах в помещениях

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Температура поверхности, °С	Относ. влажность воздуха, %	Скорость движения, м/с
Холодный	Ia	От 20 - до 25	19-26	15-75	0.1
Теплый	Ia	От 21 - до 28	20-29	15-75	0.2

Для поддержания указанных санитарных норм достаточно иметь:

- естественную неорганизованную вентиляцию помещения и местный кондиционер;
- установки полного кондиционирования воздуха, обеспечивающие постоянство температуры, относительную влажность, скорость движения и чистоту воздуха;
- систему центрального отопления для обеспечения заданного уровня температуры в зимний период согласно СНиП-41-01-2003.
- систему водяного отопления в аудитории в зимний период для поддержания необходимой температуры

## **6.2.6 Нервно-психические перегрузки, монотонность трудового процесса, зрительное перенапряжение**

Факторами могут выступить раздражающие воздействия окружающей среды такие как шум от оборудования, небольшая вибрация при его неправильной установке, некомфортное рабочее место, нехватка света и свежего воздуха, конфликты с коллегами или начальством, отсутствие перерывов для отдыха и релаксации, нехватка времени на выполнение задач, неудовлетворительные условия оплаты труда, неопределенность в будущем карьерного роста, острое отсутствие мотивации и интереса к работе.

Необходимым условием для отнесения операций и действий к монотонным является не только их частая повторяемость и малое количество приемов, что может наблюдаться и при других работах, но и их однообразие и, самое главное, их низкая информационная содержательность, когда действия и операции производятся автоматически и практически не требуют пристального внимания, переработки информации и принятия решений, т.е. практически не задействуют «интеллектуальные» функции.

Нервно-психические перегрузки подразделяются на следующие:

- умственное перенапряжение;
- перенапряжение анализаторов;
- монотонность труда;
- эмоциональные перегрузки.

Данные факторы оказывает угнетающее влияние на психическую деятельность, ухудшаются функции внимания, памяти, восприятия.

Для устранения накопленной усталости и нагрузки на организм человека необходимо выполнять комплекс физических упражнений на координацию движений, концентрацию внимания, комплекс упражнений на глаз, а также установить регламентированные перерывы.

## **6.2.7 Повышенный уровень общей вибрации**

Источником повышенной вибрации может выступать вибрация от внешних механизмов электропривода, находящихся за помещением.

Могут быть заболевания опорно-двигательного аппарата, нарушения кровообращения, повреждения нервной системы и другие нарушения организма.

В основном, это связано с постоянной вибрацией, которая воздействует на ткани и органы, вызывая их повреждение. В частности, такие заболевания могут проявляться как боли в спине и мышцах, пальцах, головные боли, нарушения зрения, ухудшение слуха. Для того чтобы снизить риск возникновения травм и заболеваний при работе с вибрационным оборудованием, необходимо использовать защитные средства и следовать рекомендациям по организации безопасности труда.

Согласно СанПИН 1.2.3685–21 уровень вибрации соответствует допустимым нормам. Для оценки соответствия нормам вибростенда используется ГОСТ Р ИСО 10813–1–2011, для предельно допустимых значений используются нормы СанПиН 1.2.3685-21

Таблица 4 – Предельно допустимые значения и уровни производственной вибрации

Вид вибрации	Категория вибрации		Направление действия	Фильтр частотной коррекции	Эквивалентные скорректированные уровни виброускорения
					дБ
Общая	Технологическая вибрация на стационарных рабочих местах.	Zo	Wk	0,1	100
		Xo, Yo,	Wd	0,071	97

Средства защиты от вибрации могут включать в себя:

- Виброгасящие подставки;
- Специальные столы.
- Изоляционные платформы;
- Активные системы защиты от вибрации.

#### **6.2.8 Разрушение неисправных элементов гидропривода насоса, находящихся под давлением**

Гидросистема должна быть испытана на прочность не менее 3 мин пробным давлением, в 1,5 раза превышающим максимальное давление, возникающее при испытаниях гидропривода, гидросистемы или гидроустройств.

При испытаниях на разрушение испытательный стенд должен быть помещен в закрытый со всех сторон шкаф либо в специальный бокс, исключающие возможность травмирования при разрушении испытуемого устройства. Персонал, проводящий испытания, должен находиться на безопасном расстоянии от стенда и испытуемого гидропривода, гидросистемы и гидроустройств.

Установка трубопроводов, имеющих трещины, разрывы и вмятины, а также дефекты резьбы соединений, не допускается.

Подгибку трубопровода на месте монтажа и на подсоединенном гидроустройстве проводить нельзя.

Трубопроводы должны быть закреплены надежно, без напряжений. При установке рукавов должны соблюдаться сроки их хранения.

Производить подтягивание болтов, гаек и других соединений на находящемся под давлением гидроприводе (гидросистеме) и во время их работы не допускается.

### **6.2.9 Повышенный уровень шума**

В помещениях с низким уровнем общего шума, где работает разработчика, источниками шумовых помех могут стать вентиляционные установки, кондиционеры или периферийное оборудование для ЭВМ (плоттеры, принтеры и др.) Длительное воздействие этих шумов отрицательно сказывается на эмоциональном состоянии персонала.

Согласно ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности» [41] эквивалентный уровень звука не должен превышать нормативного значения на протяжении 8-ми часовой рабочей смены, рассчитываемой по формуле в п.3.2. этого же документа. Нормы уровней звука приводятся в таблице 1 документа СП 51.13330.2011 Защита от шума.

Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с изменением № 1)

Для того, чтобы добиться этого уровня шума рекомендуется применять звукопоглощающее покрытие стен.

В качестве мер по снижению шума можно предложить следующее:

- облицовка потолка и стен звукопоглощающим материалом;
- экранирование рабочего места (постановкой перегородок, диафрагм);
- установка в помещениях оборудования, производящего минимальный шум;
- рациональная планировка помещения.

Под воздействием шума, превышающего 85–90 дБ, снижается слуховая чувствительность. Уровень шума с учетом восприятия звука человеком на рабочем месте при работе всего оборудования составляет приблизительно 90 дБА. Для защиты работника применяются СИЗ типа наушников.

Таблица 5 – Эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий напряженности и тяжести, дБА

Предельно допустимые эквивалентные уровни звука, дБА			
Категории напряженности трудового процесса	Категории тяжести трудового процесса		
	легкая и средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени
Напряженность легкой и средней степени	80	75	75

Эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день считается по

формуле: 
$$L_{EX,8h} = L_{pA,eqT_e} + 10 \lg \left[ \frac{T_e}{T_0} \right],$$
 или 
$$L_2 = 10 \log \left( \frac{1}{T} * \sum (10^{\frac{L_1}{10}} * t_1) \right)$$

где:  $L_2$  - эквивалентный уровень звука за 8-часовой день;  $T$  - время работы в течении 8 часов (в данном случае равно 8 часам, т.е. 8\*60=480 минут);  $\sum$  - сумма всех значений, которые нужно сложить;  $L_1$  - уровень звука на рабочем месте;  $t_1$  - время, которое работник проводит в данной зоне.

В производственном помещении уровень шума составляет 85 дБА, на рабочем месте 70 дБА, на первом рабочий проводит до 2 часов времени на втором до 6 часов.

$$L_2 = 10 \log \left( \frac{1}{480} * \left( 10^{\frac{85}{10}} \right) * 2 + 10^{\frac{70}{10}} * 6 \right) = 83,2 \text{ дБА}$$

Дневное значение шума составляет 83 дБА. Это превышает норму, но при этом на рабочем месте используются СИЗ для защиты слуха.

### **6.3 Экологическая безопасность**

Правовая основа охраны окружающей среды в РФ изложена в законе РСФСР «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (1991).

Процесс проведения научно-исследовательской работы подразумевает влияние на разные сферы экологии, такие как:

- Литосфера
- Гидросфера
- Атмосфера

#### **6.3.1 Анализ влияния объекта на окружающую среду**

Отказоустойчивый электропривод насосной установки, как любая технологическая система, может оказывать отрицательное влияние на окружающую среду. Причины этого могут быть различными.

- Для обеспечения отказоустойчивости электропривод требует применения дополнительных технических решений, которые могут быть небезопасными для окружающей среды. Например, системы аварийного отключения или запасных источников питания в количестве 2 штук и 1 штуки реле аварийного отключения работающего на масляном гидро приводе и его электрическая схема которые могут содержать в себе токсичные элементы, которые попадут в окружающую среду при утилизации влияя на атмосферу и литосферу.

- Отказоустойчивость электропривода может увеличить потребление электроэнергии в насосной установке. Это может привести к увеличению

использования энергии, получаемой из неэкологичных источников, выделению избыточного тепла за счет устойчивых механизмов, но с излишком шума что влияет на селитебную зону

- Обслуживание и ремонт отказоустойчивого электропривода могут включать в себя использование химических веществ, например аккумуляторные батареи, которые могут быть опасными для гидросферы и литосферы.

В целом, отказоустойчивый электропривод насосной установки может оказывать некоторое отрицательное влияние на окружающую среду, если не будут предприняты соответствующие меры по снижению его негативного воздействия.

## **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект эксплуатации и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС**

Согласно ЧС – это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории, вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией, эпифитотией, применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям.

Наиболее вероятная чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть во время процесса эксплуатации оборудования и программного обеспечения идентификации статических характеристик нагрузки – пожар.

Согласно Федеральному закону № 123-ФЗ от 22.07.2008 года «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [45] степень огнестойкости зданий принимается в зависимости от их назначения, категории по взрывопожарной и пожарной опасности, этажности, площади этажа в пределах пожарного отсека.

Основные источники возникновения пожара:

– неработоспособное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования;

– электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов;

– перегрузка в электроэнергетической системе (ЭЭС) и короткое замыкание в электроустановке. Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров. Пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий: Помещение с рабочей зоной соответствует правилам пожарной безопасности, имеет пониженную пожароопасность категории «В4» это использования трудно горючих жидкостей и твёрдо горючих материалов таких как оборудование и мебель с классом пожара «А» с применением огнетушителей водяных, порошковых и АВСЕ и категория пожара «Е» для помещения с электродвигателем насосной электроустановкой с использованием огнетушителей АВСЕ и ВСЕ.

Причинами возникновения пожара могут быть:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей, которые могут привести к короткому замыканию или пробое изоляции;
- использование поврежденных (неисправных) электроприборов;
- использование в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- возникновение пожара вследствие попадания молнии в здание;
- возгорание здания вследствие внешних воздействий;
- неаккуратное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

Класс возможного пожара разделен на 2 части так как производственное помещение разделено на 2 части. Категория А для помещения с рабочей

зоной рабочего и категория Е для помещения с электроприводом насосной установки.

Таблица 6 – Типы используемых огнетушителей при пожаре в рабочем и производственном помещении

Напряжение, кВ.	Тип огнетушителя (марка)
До 1,0	Порошковый (серии ОП)
До 10,0	Углекислотный (серии ОУ)
Все	Огнетушители категории АВСЕ и ВСЕ

Действия сотрудника при обнаружении возгорания: при возникновении пожара необходимо незамедлительно обратиться в службу спасения. Затем оповестить персонал о возникновении пожара нажатием на кнопку сигнализации. При опасности поражения электротоком, помещение необходимо обесточить. После чего можно приступать к тушению пожара.

### **Вывод по разделу**

В данном разделе был проведен анализ вредных и опасных факторов для инженера непосредственно на его рабочем месте в производственном помещении.

Фактические значения всех производственных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам техник безопасности и нормативов, которые также были продемонстрированы в данном разделе.

Помещение –соответствует правилам пожарной безопасности, имеет пониженную пожароопасность категории «В4» это использования трудно горючих жидкостей и твёрдо горючих материалов таких как оборудование и мебель.

Исходя из уровня общих энергозатрат работающего человека работы принадлежат категории Ia.

Пагубные факторы, оборудование и помещение относится к «IV» категории объектов, оказывающих пагубное воздействие на окружающую среду.

По электробезопасности помещение относится к «помещениям без повышенной опасности» с использованием электроприборов I категории. Персонал, который может работать в данном помещении с приборами, должен иметь «И2» группу допуска по работе с электроинструментами и установками до 1000В. Категория тяжести труда и работ по уровню энергозатрат организма для данной работы I а.

Был предложен ряд мероприятия по предотвращению и минимизации пагубных факторов, которые могут повлиять на жизнь человека и экологию, в том числе утилизация отходов в ходе проведения работ, само же помещение относится к «III» категории объектов, оказывающих пагубное воздействие на окружающую среду.

В результате анализа было подтверждено, что все необходимые меры для обеспечения безопасности сотрудников приняты.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с заданием на дипломный проект был разработан электропривод и система автоматического управления насосной установкой для насосной станции ПНС – 2, обслуживающий жилой сектор. Применение регулируемого привода увеличивает срок службы двигателя данной структуры и обеспечивает требуемую подачу воды с соответствующим расходом электроэнергии. Выбран асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором со скалярным частотным управлением.

При употреблении предлагаемой автоматизированной системы на предприятиях и в жилищно-хозяйственных организациях основной экономический эффект достигается за счет: снижения расхода энергоносителя; улучшения качества водоснабжения.

Для насосной станции ПНС-2, обслуживающей жилой сектор, были разработаны электропривод и система автоматического управления. Применение регулируемого привода увеличивает срок службы двигателя и обеспечивает нужную подачу воды с соответствующим расходом электроэнергии. Для улучшения экономической эффективности на предприятиях и в жилых организациях, предлагается использовать автоматизированную систему, что позволит снизить расход энергоносителя и улучшить качество водоснабжения.

В результате исследования динамических характеристик реальной системы насосной установки при свойственных ей внешних воздействиях при помощи программы *SIMULINK* из прикладного пакета *MATLAB 7.1* была проверена ее работоспособность при векторном способе регулирования.

Изучение показало, что при векторном варианте на низких частотах работы устройства, при разгоне и торможении, характеристики момента и тока имеют незначительные колебания, в то время как при скалярном управлении, происходят значительные всплески колебаний этих параметров, что негативно сказывается на всем электроприводе. В результате анализа было сделан вывод, что для данной системы подходит векторное вид.

Из исследования следует, что при использовании векторного управления на низких частотах работы устройства, при его разгоне и торможении, характеристики момента и тока почти не колеблются, в отличие от скалярного управления, которое приводит к значительным всплескам этих параметров, негативно влияющим на работу всего электропривода. Вывод из проведенного анализа заключается в том, что для данной системы наилучшим вариантом является использование векторного управления.

Результаты работы удовлетворяют заданию проекта. Таким образом, основная цель дипломного проекта была выполнена

В экономической части установлено, что разработка электропривода насосной установки с ПЧ на основе векторного управления, является целесообразной и экономически обоснованной.

Задание проекта было выполнено, поэтому результаты работы соответствуют ему. Основная цель дипломного проекта достигнута.

Из экономического анализа следует, что создание электропривода для насосной установки с применением векторного управления и ПЧ является выгодным и обоснованным решением.

Так же рассмотрены вопросы техники безопасности и охраны труда в плане электробезопасности, промышленной санитарии, экологии и ЧС.

**Приложение А**  
(справочное)

**Investigation of a fault-tolerant valve-inductor  
electric drive of a pumping unit in incomplete phase operation modes**

Студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5AM16	Шарипов Нурулло Мурод угли		

Консультант Отделения электроэнергетики и электротехники ИШЭ:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор	Однопылов Георгий Иванович	Доктор технических наук,		

Консультант – лингвист Отделения иностранных языков ШБИП:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Егорова Юлия Ивановна	Кандидат технических наук		

## **Introduction**

The object of the study is a fault-tolerant valve-inductor electric drive of a pumping unit

An electric machine as a rule is used independently or in combination with other types of devices and mechanism, guaranteeing the functioning of an electric machine with a low load and increasing the saving of equipment with energy output to the network.

Advantages:

Economy.

Nature conservation.

Improving the quality of operational indicators.

Saving resources.

Disadvantages:

Water hammer .

Vibrations that lead to the destruction of the foundation of the pumping unit.

AC electric drives, like other aggregates, are prone to falling out of the operating mode. In situations where the conditions for survivability are very high, it is advisable to take into account the two-phase operation option in case of failure of the EP

Improving the stability of the electric motor to emergency situations is inseparable from improving the viability of the electric drive, which ensures the normal operation of the unit in a given range. Using the technology of creating backup systems, it is possible to achieve improved viability by combining various types of redundancy: structural, functional, temporary, informational and excessive load.

The development of water and heat supply systems is aimed at the efficient use of natural resources and environmental protection. Recently, more and more attention has been paid to the creation of closed-loop systems for drainless water use in the design of new and reconstruction of existing systems. The main component of water supply systems are pumping stations, as well as hot water. Due to the increase in energy prices, this topic of the project is particularly relevant. [1]

## **DESCRIPTION OF THE PUMPING STATION OPERATION TECHNOLOGY**

An electric drive is a device that transfers mechanical rotational energy to a pump using an electric current. A pipeline is a system of pipes connected to each other, which serves to move liquid from one place to another. A shut-off valve is a device that is used to block the flow of liquid, as well as to regulate the flow and pressure of liquid. A control valve is a device that is used to regulate fluid flow and pressure in a pipeline. Instrumentation - devices that are used to monitor and measure the parameters of the pumping unit, such as pressure, temperature, fluid flow, etc. Control and protection devices are systems that are used for automatic control and protection of a pumping unit, including emergency correction, adjustment of the operating mode, monitoring and measurement of parameters, etc. [1]

### **Technological process of booster pumping station operation**

It is necessary to design a device for controlling the speed of a direct pump of a pumping station of type 300D90, which will provide a continuous operation mode and adjustment with a range of  $D = 3:1$ . The device must maintain the set frequency at the lower operating speed with an error of no more than 10%, as well as provide manual control from the control panel and the possibility of automatic pressure control. The electric motor must be closed and have a degree of protection of at least IP54, and the converter must be suitable for use in rooms with microclimate parameters from  $0^{\circ}$  to  $40^{\circ}$  C and the permissible humidity is no more than 80% relative humidity. Requirements for the structure of AEP regulation: it should be simple and reliable in operation, and the network should correspond to the three-phase version of  $6000 \pm 10\%$  V,  $50 \pm 1$  Hz. And have a self-diagnosis function so that operators can quickly detect and fix malfunctions. [3]

It is also necessary to have a fire extinguishing system and emergency pressure reduction in the event of a fire or other emergency.

To facilitate the maintenance and repair of the pumping unit, it is necessary to provide convenient access to pumping units, shut-off valves and control and

measuring devices. It should also be possible to replace individual elements with minimal time and effort.

In general, the pumping unit must be reliable, efficient and economical, ensuring the continuous operation of the city's heat supply system and meeting the requirements of operation and safety. [4]

### **Description of the pump operation and its characteristics**

The 300D90 series pumps have a low noise and vibration level. They can be used in public water supply systems, in heating and air conditioning systems, as well as in industrial water supply systems.

The pumping unit based on 300D90 can be used in conditions of high loads and performance requirements. It must be installed on a rigid and reliable foundation to ensure a minimum level of vibration and noise.

In addition, proper connection to the piping system must be ensured, as well as sufficient ventilation to avoid overheating of the pump. The appearance and parameters of the pump are shown in Figure A.1. and the table. A.1. respectively.



Figure A.1. Appearance of the pump type 300D90

Table A.1. - Technical parameters of the pump type 300D90

Pump type	Q, м <sup>3</sup> /час	H, м	η, %	P, кВт	$J_{nc} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$
300Д90	1080	70	88	315	9,2

Mechanical characteristics and dimensional drawing are shown in figures A.2. and A.3.

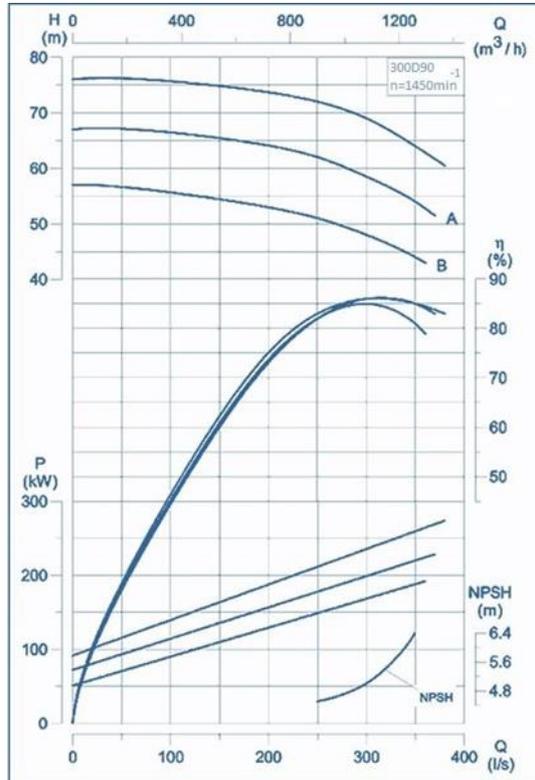


Figure A.2. Mechanical characteristics of the pump 300D90

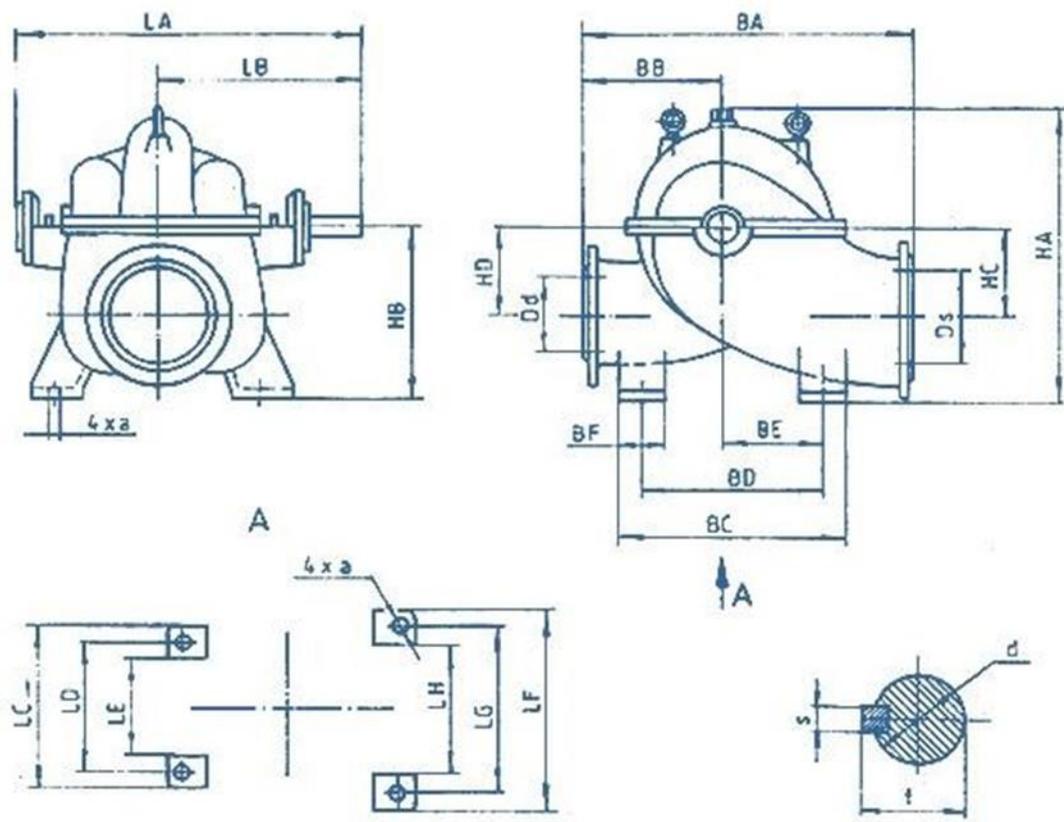


Figure A.3. Dimensional drawing of the pump 300D90

## **Fault-tolerant electric drive of the pumping unit**

### **Circuit solutions of domestic scientists to ensure the fault tolerance of the electric drive**

Statement of the problem

Survivability (from English resilience) is the ability of a system to maintain its performance and efficiency in the presence of defects, damage or extreme impacts. Survivability also means the ability of the system to quickly restore its performance after the occurrence of unforeseen situations.

Survivability is an important indicator of the quality of a system, especially technical systems such as machinery, equipment, infrastructure, etc. In the context of technical systems, survivability can mean not only the ability of the system to maintain operability and safety in the event of defects, but also the ability to quickly and efficiently restore operability after unforeseen situations or emergencies.

Survivability can be ensured through the use of redundant components, backup systems, emergency power supply, control systems, software and hardware monitoring and diagnostics, etc. It is important to consider survivability in the development and operation of technical systems, as this helps to ensure their durability, safety and efficiency.

All these malfunctions can lead to the cessation of the operation of the electric drive, and in some cases - to its breakdown. If electrical faults occur, immediate action must be taken to eliminate them or call the technical service. In addition, it is necessary to regularly check and maintain the actuator in order to avoid possible malfunctions.

The emergency operation of the engine, in which two phases are connected, is a serious danger. The engine may stop, and if you continue to work, it may overheat and fail. Therefore, the use of connected phases in emergency mode is not allowed. To ensure reliability in the event of an emergency, one of the methods of a fail-safe electric drive should be applied. [2]

Technical solutions based on schemes and algorithms are being developed to ensure the survivability of the electric drive.

It really is. Three-phase asynchronous electric drive is considered the most popular type of drive due to its reliability and simplicity of design. However, even the highest quality and most reliable electric drives can fail in the event of an emergency, such as an open or short circuit in one or more phases. In this case, the use of a redundant mechatronic system allows the electric drive to continue operating even if one of the phases fails. After the electric drive is transferred to the two-phase operation mode, it is possible to restore working capacity using the appropriate algorithm. To do this, an automatic algorithm for switching to another phase can be used, which can be built directly into the control unit of the electric drive.

To restore the operability of an asynchronous electric drive in the event of an emergency, associated, for example, with a failure of one or more phases, the following algorithm can be used:

**Emergency detection.** The microcontroller must constantly monitor the parameters of the drive, such as phase currents, voltages, rotation speed, etc. In the event of an emergency, the microcontroller must receive the appropriate signals from the sensors and switch to the recovery mode.

**Switching to other phases.** The microcontroller must switch from the failed phase to work on other phases. To do this, it is necessary to use an algorithm for switching to other phases, which can be implemented as part of the software of the control microcontroller.

**Calibration of phase currents.** After switching to other phases, it is necessary to calibrate the phase currents. This will ensure the correct operation of the electric drive on new phases and avoid overloading the motor.

**Drive restoration.** Once the phase currents have been calibrated, the drive can be returned to run mode. The microcontroller should switch from recovery mode to normal control mode, continuing to monitor the parameters of the drive and ensure its stable operation.

It is important to consider that the control microcontroller must operate at a frequency not lower than the PWM modulation frequency of the power converter in order to ensure accurate control of the electric motor. In addition, the microcontroller

must have a constant program cycle, which will ensure a quick response to emergency situations and an effective recovery of the electric drive.

For an asynchronous drive that uses slave control and requires current feedback for a torque motor with control parameter  $I$ , the failed phase recovery algorithm can be implemented as follows:

Emergency detection. As before, the microcontroller must constantly monitor the parameters of the drive, such as phase currents, voltages, rotation speed, etc. In the event of an emergency, the microcontroller must receive the appropriate signals from the sensors and switch to the recovery mode.

Shutdown of the failed phase. In this case, the microcontroller must instruct the frequency converter to turn off the failed phase.

Calibration of phase currents. As before, after disconnecting the failed phase, it is necessary to calibrate the phase currents. This will ensure the correct operation of the electric drive on new phases and avoid overloading the motor.

Switching the current regulator to saturation mode. After calibrating the phase currents and transferring the motor to work on new phases, the microcontroller must put the current regulator into saturation mode to quickly control the torque motor with the regulation parameter  $I$ .

Drive restoration. Once the current regulator has been set to saturation mode, the drive can be returned to run mode. The microcontroller should switch from recovery mode to normal control mode, continuing to monitor the parameters of the drive and ensure its stable operation.

Status sensors, in turn, must be interrogated in each microcontroller control cycle so that the microcontroller can monitor the operation of the drive and signal the occurrence of emergency situations.

Indeed, the structural reserve is an important element in ensuring the survivability of an asynchronous electric drive. With it, you can control the microcontroller and use the elements in reserve to restore the drive in case of failures of the frequency converter.

To achieve a high level of survivability, a number of conditions must be met when sudden failures occur. In particular, in the event of a break in one of the phases of the drive, the microcontroller must quickly detect a failure, turn off the faulty phase and switch operation to the remaining two phases. In addition, in the event of a frequency converter emergency, the microcontroller must automatically switch operation to the backup converter. It is also important to make sure that the backup converter is working at full capacity and is able to provide the necessary conditions for reliable and stable operation of the drive.

Thus, compliance with the necessary conditions and the use of a structural reserve make it possible to achieve high levels of survivability of an asynchronous electric drive and ensure its reliable operation in various conditions.

The use of structural redundancy and a microcontroller with information redundancy is one of the ways to ensure the survivability of an asynchronous electric drive. The microcontroller, running on a constant program cycle, can control the operation of the drive and quickly respond to failures that occur.

To monitor the drive status, the microcontroller analyzes the phase currents and issues signals about emerging problems. When a failure occurs, the microcontroller can quickly switch operation to the backup element and restore the drive.

The papers describe the study of an asynchronous electric drive using structural redundancy and a microcontroller with information redundancy. This approach allows to ensure high survivability of the drive and guarantee its stable operation in various conditions. [2]

### **Schematic solutions of foreign scientists to ensure the fault tolerance of the electric drive**

The circuit solutions proposed by foreign scientists to ensure the fault tolerance of the electric drive are considered.

The focus is on fault diagnosis and fault tolerance. Ž. FERKOV and Ľ. KAŇUCH from the Technical University in Kosice developed a simulation of a two-phase induction motor and measured the waveforms of currents and torques using a

symmetrical two-phase power supply. The results were compared with the created models in ANSYS Maxwell and MATLAB / Simulink. [eleven]

However, the Simulink model can be used to roughly simulate the operation of the system and get a general idea of its operation, provided that the results are compared with measurements and other programs. It is correct to single out the main reason for higher current signals in a Simulink model than in reality, however, when designing and modeling electrical systems, it is necessary to take into account all possible factors that affect their operation, including non-linearity of materials, iron losses, and other factors, to obtain more accurate results.

## **Design control features**

### **Compactness**

It is achieved due to the fact that the frequency converter is placed in one cabinet, which leads to a reduction in its size by 30% compared to standard converters. What's more, the converter has a one-way operation, which provides convenient access to control parameters, transformer and inverter cells. The cabinet is certified and has degrees of protection IP31, IP41 and IP42, which is ensured by fans on the roof.

### **Basic equipment**

The frequency converter interface includes a 10" LCD operator panel and software for setting it up. Frequency converters have a high degree of reliability, and are also equipped with non-surgical power supplies. They are also marked with the CE marking, which confirms their compliance with European safety and electromagnetic compatibility standards. The ATV1200 base package includes safety features such as a mechanical door interlock system and limit switches on all doors, as well as freely programmable inputs/outputs. Depending on the requirements of the customer, protection elements can be made to suit specific needs.

### **Proven design solution**

### **Layered technology**

The use of a frequency converter topology allows standard motors to be controlled without the need for additional equipment, resulting in a fast return on investment. Multi-level technology allows the converter to provide high quality voltage and control motors without the need for special designs and reinforced insulation. In addition, the cable length between the inverter and the motor can be up to 2000m, and there is no need to select a special cable. Small step voltage curve and low du/dt increase motor life.

### **Efficient cooling system**

The professionally designed, efficient cooling system uses design features to optimize cooling airflow and avoids the installation of additional fans that are typically found at the bottom of the transformer and control sections. Eliminating

these fans improves the efficiency of the frequency converter by 0.3% and makes it easier to evaluate energy savings.

#### Inverter topology

To create the output voltage curve, a topology is used that combines two-level IGBT inverter cells, which are widely used in the industrial field due to their high reliability. The modular design allows the inverter cell to be quickly replaced in just a few minutes, providing quick and easy technical support when needed.

#### Control section cooling

The control section is cooled by air flow from the common system, so there is no need to install additional fans. This design solution improves the reliability of the frequency converter, as it ensures the optimum temperature of the elements of the control section and prevents overheating.

#### **Section Conclusions**

- A review of international studies in the field of sustainability was carried out, confirming the relevance of research work on this topic.
- Conclusions about the prospects of using functional and structural redundancy to ensure the fault tolerance of an AC electric drive are relevant and important. The organization of continuous monitoring of the elements of the frequency converter and the motor stator winding and the corresponding control system is also one of the key factors that ensure the stable operation of the electric drive.
- A review of foreign studies confirms the growing interest in research in the field of fault tolerance of electrical systems, and also indicates the presence of a global trend to increase the reliability and stability of electrical systems of various levels of complexity.
- Thus, research in the field of fault tolerance of AC electric drives is an important direction in the development of electrical engineering and in order to achieve high reliability and stability of electrical systems as a whole.

## **CONCLUSION**

For the PNS-2 pumping station serving the residential sector, an electric drive and an automatic control system were developed. The use of a variable drive increases the life of the engine and ensures the right water supply with the corresponding energy consumption. To improve economic efficiency in enterprises and residential organizations, it is proposed to use an automated system, which will reduce energy consumption and improve the quality of water supply.

As a result of studying the dynamic characteristics of a real system of a pumping unit under its inherent external influences, using the SIMULINK program from the MATLAB 7.1 application package, its performance of the pumping unit was tested with two control methods, namely: scalar and vector.

It follows from the study that when using vector control at low frequencies of the device, during its acceleration and deceleration, the torque and current characteristics hardly fluctuate, in contrast to scalar control, which leads to significant bursts of these parameters that negatively affect the operation of the entire electric drive. The conclusion from the analysis is that for this system the best option is to use vector control.

The task of the project was completed, so the results of the work correspond to it. The main objective of the thesis project has been achieved.

It follows from the economic analysis that the creation of an electric drive for a pumping unit using vector control and a frequency converter is a profitable and reasonable solution.

The issues of safety and labor protection in terms of electrical safety, industrial sanitation, ecology and emergency situations were also considered.

## References

1. Maltseva O.P., Udut L.S., Koyain N.V. (2011). Control systems for asynchronous frequency-controlled electric drives: textbook.– Tomsk: TPU, 476s.
2. Chernykh I.V. (2008). Modeling of electrical devices in MATLAB, SimPowerSystems and Simulink. St. Petersburg; 288s.
3. GOST 12.1.019-79 Electrical safety. General requirements and nomenclature of types of protection.
4. GOST 12.4.051-87 Means of individual protection of the hearing organ