

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Мореходный факультет

Кафедра «Энергетические установки и электрооборудование судов»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан мореходного факультета



С.Ю. Труднев

«23» октября 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем»**

по направлению подготовки  
13.03.02 «Энергетика и электротехника»  
(уровень бакалавриат)

профиль: «Электрооборудование и автоматика судов»  
квалификация: бакалавр

Петропавловск-Камчатский  
2024

Рабочая программа дисциплины составлен на основании ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Энергетика и электротехника» (уровень бакалавриат), учебного плана подготовки специалистов, принятого на заседании ученого совета ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» 02.10.2024 г., протокол № 2

Составитель рабочей программы

Зав. кафедры «ЭУЭС», к.т.н.



Белов О.А.

Рабочая программа рассмотрен на заседании кафедры «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«17» октября 2024 г, протокол № 4

Заведующий кафедрой «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«23» октября 2024 г.



Белов О.А.

## 1. Цель и задачи учебной дисциплины

Электроэнергетическая система - основная система судна, т.к. живучесть, безопасность мореплавания, эффективность работы судна определяется результативностью ее функционирования. Следовательно, перечисленные показатели судна однозначно определяются качеством расчета и проектирования СЭЭС. Таким образом, целью изучения дисциплины «Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем» являются основные методы проектирования, расчета и моделирования системы для обеспечения высоких технико-эксплуатационных и экономических показателей как источников электрической энергии, так и разнохарактерных потребителей. Является обязательной дисциплиной

и ее изучение обеспечивает необходимый уровень профессиональной подготовки специалистов электромехаников, специализирующихся в области технической эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики.

Цель преподавания дисциплины заключается в подготовке специалиста, владеющего методикой решения определенных технических задач и разработкой конструкторской документации.

Задачи при изучении дисциплины: научить курсантов и студентов применять полученные теоретические знания к решению практических задач проектирования, эксплуатации и ремонта современных судовых систем.

## 2. Требования к результатам освоения дисциплины

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Энергетика и электротехника», выпускник должен обладать следующими КОМПЕТЕНЦИЯМИ:

- Способен обосновывать планы и программы технического обслуживания и ремонта оборудования электрических сетей (**ПК-2**)

- Способен планировать и вести деятельность по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования (**ПК-3**)

- Способен осуществлять безопасное техническое использование, техническое обслуживание, диагностирование судового электрооборудования, электроники и электротехнических средств автоматики палубных механизмов, тралового и грузоподъемного оборудования (**ПК-4**)

Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины (знать, уметь, владеть), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенция или ее часть), представлены в табл. 1.

Таблица 1

Код компетенции	Планируемые результаты освоения образовательной программы	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции	Планируемый результат обучения по дисциплине	Код показателя освоения
<b>ПК-2</b>	Способен обосновывать планы и программы технического обслуживания и ремонта оборудования электрических сетей	<b>ИД-1</b> ПК-2: Демонстрирует навыки безопасного технического использования электрического и электронного оборудования	<b>Знать:</b> - характеристики и ограничения материалов, используемых при изготовлении электрического и электронного оборудования; - характеристики и ограничения материалов, используемых при изготовлении электрического и электронного оборудования; - свойства и параметры, учитываемые при изготовлении и ремонте электрического и электронного оборудования;	<b>З(ПК-2)1</b>
		<b>ИД-2</b> ПК-2: Понимает организацию технического обслуживания, диагностирования и ремонта электрического и электр		<b>З(ПК-2)2</b>
				<b>З(ПК-2)3</b>

		<p>тронного оборудования</p> <p><b>ИД-3пк-2:</b> Обладает необходимыми знаниями для проведения диагностики электрического и электронного оборудования</p>	<p>- методы выполнения безопасных аварийных и временных ремонтов.</p>	<p><b>З(ПК-2)4</b></p>
			<p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выполнять основные операции по восстановлению электрических соединений и электрической изоляции;</li> <li>- выполнять основные операции по механической обработке металлов;</li> <li>- выполнять требования по организации рабочего места и безопасному выполнению ремонтных работ;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p>	<p><b>У(ПК-2)1</b></p> <p><b>У(ПК-2)2</b></p> <p><b>У(ПК-2)3</b></p>
			<p>- навыками целеполагания</p> <p>- методами анализа проблем</p> <p>навыками организации процесса разработки, принятия и реализации управленческих решений</p>	<p><b>В(ПК-2)1</b></p> <p><b>В(ПК-2)2</b></p>
<p><b>ПК-3</b></p>	<p>Способен планировать и вести деятельность по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования</p>	<p><b>ИД-1пк-3.</b> Демонстрирует навыки безопасного технического использования систем автоматики и управления главной двигательной установкой и вспомогательными механизмами</p> <p><b>ИД-2пк-3</b> Понимает организацию технического обслуживания, диагностирования и ремонта систем автоматики и управления главной двигательной установкой и вспомогательными механизмами</p> <p><b>ИД-3пк-3</b> Обладает необходимыми зна-</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- характеристики и ограничения материалов, используемых при изготовлении систем автоматики и управления главной двигательной установкой и вспомогательными механизмами;</li> <li>- характеристики и ограничения процессов, используемых для изготовления и ремонта систем автоматики и управления главной двигательной установкой и вспомогательными механизмами;</li> <li>- свойства и параметры, учитываемые при изготовлении и ремонте систем автоматики и управления главной двигательной установкой и вспомогательными механизмами;</li> </ul>	<p><b>З (ПК-3)1</b></p> <p><b>З (ПК-3)2</b></p> <p><b>З (ПК-3)3</b></p>

		ниями для проведения диагностики систем автоматики и управления главной двигательной установкой и вспомогательными механизмами	- методы выполнения безопасных аварийных и временных ремонтов.  <b>Уметь:</b> - выполнять основные операции по восстановлению электрических соединений и электрической изоляции; - выполнять основные операции по механической обработке металлов; - выполнять требования по организации рабочего места и безопасному выполнению ремонтных работ;  <b>Владеть:</b> - навыками целеполагания; - методами анализа проблем навыками организации процесса разработки, принятия и реализации управленческих решений.	<b>З (ПК-3)4</b>  <b>У(ПК-3)1</b>  <b>У (ПК-3)2</b>  <b>У (ПК-3)3</b>  <b>В(ПК-3)1</b> <b>В (ПК-3)2</b>
ПК-4	Способен осуществлять управление деятельностью по техническому обслуживанию и ремонту электроустановок	ИД-1ПК-4. Знает устройство (конструкцию) электрооборудования и устройств автоматики ИД-2ПК-4. Знает назначение и технические характеристики электрооборудования и устройств автоматики, электрорадионавигационных систем, судового технологического и бытового оборудования ИД-3ПК-4. Умеет анализировать параметры технического состояния электрооборудования	<b>Знать:</b> – современные методы диагностики и ремонта электрического и электронного оборудования. <b>Уметь:</b> – проводить сбор и анализ данных о режимах работы судового электрооборудования. <b>Владеть:</b> – способностью к переоценке накопленного опыта, анализу своих возможностей, самообразованию и постоянному совершенствованию в профессиональной, интеллектуальной, культурной и нравственной деятельности.	<b>З(ПК-4)1</b>  <b>У(ПК-4)1</b>  <b>В(ПК-4)1</b>

		ИД-4ПК-4. Умеет работать с технической документацией по эксплуатации электрооборудования и автоматики		
--	--	---	--	--

### 3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Важность дисциплины вытекает из ее названия. Фундаментом безопасности мореплавания судна, его высокой эффективности в работе являются точное проектирование, расчет и моделирование всех судовых систем, в том числе и СЭЭС. Дисциплина ОРП СЭЭС охватывает расчет и выбор элементов СЭЭС, исследование (математическое моделирование на основе ЭВМ) систем ав-томатического управления и регулирования, проверку выбранных элементов СЭЭС на падения и потери напряжения, электродинамическую и электротермическую устойчивости, регулировку по току и времени срабатывания.

Дисциплина относится к блоку обязательных дисциплин, обеспечивая подготовку студентов в области электроснабжения. Изучается в В семестре, т. е. после изучения основных фундаментальных дисциплин и включает лекции, практические занятия и самостоятельную работу.

Успешное изучение курса «Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем» обеспечивают дисциплины «Теория автоматического управления», «Основы проектирования судовых систем», «Судовые электрические машины», «Судовой автоматизированный электропривод», «Теоретические основы электротехники». Особенно эта взаимосвязь сказывается при рассмотрении переходных процессов и моделировании систем.

Теоретические знания, полученные при изучении дисциплины «Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем», являются базовыми знаниями при изучении следующих дисциплин: «Техническая эксплуатация судна», «Ремонт и монтаж судового электрооборудования и средств автоматики», «Гребные электрические установки». Это вполне закономерно, т.к. для подготовки инженера по упомянутой специальности государственный стандарт охватывает дисциплины, которые определены многолетним опытом строительства и эксплуатации судов разного назначения, причем как отечественных так и зарубежных проектов.

## 4. Содержание дисциплины

### 4.1. Тематический план дисциплины

Тематический план дисциплины по заочной форме обучения представлен в виде табл. 4.

Таблица 4

Наименование разделов и тем	Всего часов	Аудиторные занятия	Контактная работа по видам учебных занятий			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля	Итоговый контроль знаний
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Введение. Общие сведения об электроэнергетических системах судов.	11	1	1			10	Конспект лекций по темам, защита отчета по ПР	
Источники электрической энергии на судах.	11	1	1			10		
Автоматические системы стабилизации напряжения и частоты судовых генераторов.	12	2		2		10		
Аккумуляторные батареи.	11	1	1			10		
Выбор мощности и количества генераторных агрегатов судовых электростанций (СЭС).	12	2		2		10		
Работа источников, преобразователей и накопителей электрической энергии (ЭЭ).	13	3	1	2		10		
Аппаратура электrorаспределительных устройств.	13	3	1	2		10		
Генерирование и распределение электроэнергии.	12	2		2		10		
Автоматизированное управление электроэнергетическими системами (ЭЭС) судов.	10					10		
Электрические сети (ЭС).	11	1	1			10		
Переходные процессы в ЭЭС судов.	11	1	1			10		
Эксплуатация СЭС.	11	1	1			7		
<b>Курсовой проект</b>							Защита	
<b>Экзамен</b>	9						Опрос	<b>9</b>
<b>Всего</b>	<b>144</b>	<b>18</b>	<b>8</b>	<b>10</b>		<b>117</b>		<b>9</b>

### 4.2. Содержание дисциплины

#### Тема 1. Введение. Общие сведения об электроэнергетических системах судов.

##### Лекция 1.1

##### Рассматриваемые вопросы:

Классификация ЭСС. Потребители электроэнергии. Параметры ЭСС. Требования к судовому электрооборудованию.

#### Тема 2. Источники электрической энергии на судах.

##### Лекция 2.1

##### Рассматриваемые вопросы:

Общие сведения. Судовые генераторы. Генераторные установки отбора мощности. Обслуживание судовых генераторов. Аккумуляторы электрической энергии. Электромашинные и статические преобразователи.

#### Тема 3. Автоматические системы стабилизации напряжения и частоты судовых генераторов.

##### Лекция 3.1

##### Рассматриваемые вопросы:

Общие сведения. Основные определения и классификация. Системы автоматической стабилизации напряжения судовых генераторов постоянного тока. Системы автоматической стабилизации напря-

жения синхронных генераторов. Системы автоматической стабилизации частоты вращения приводных двигателей. Системы автоматического регулирования напряжения по его отклонению. Системы автоматического регулирования напряжения по внешнему воздействию. Комбинированные системы автоматического регулирования напряжения. Самовозбуждение генераторов.

#### **Тема 4. Аккумуляторные батареи.**

##### *Лекция 4.1*

##### *Рассматриваемые вопросы:*

Применение аккумуляторных батарей. Определение их емкости. Щелочные аккумуляторные батареи. Кислотные аккумуляторные батареи. Зарядка аккумуляторных батарей. Зарядные устройства.

#### **Тема 5. Выбор мощности и количества генераторных агрегатов судовых электростанций (СЭС).**

##### *Лекция 5.1*

##### *Рассматриваемые вопросы:*

Общие сведения. Табличный метод определения мощности СЭС. Аналитический метод определения мощности СЭС. Вероятностный метод определения мощности СЭС.

#### **Тема 6. Работа источников, преобразователей и накопителей электрической энергии (ЭЭ).**

##### *Лекция 6.1*

##### *Рассматриваемые вопросы:*

Общие сведения о режимах работы. Параллельная работа генераторов постоянного тока. Параллельная работа синхронных генераторов. Включение генераторов на параллельную работу. Распределение нагрузок между параллельно работающими генераторами. Параллельная работа трансформаторов. Параллельная работа генератора постоянного тока и аккумуляторной батареи. Особенности использования валогенераторов. Электрические станции серийных судов. Аварийные электростанции.

#### **Тема 7. Аппаратура электrorаспределительных устройств.**

##### *Лекция 7.1*

##### *Рассматриваемые вопросы:*

Общие сведения. Автоматические выключатели. Плавкие предохранители. Пакетные выключатели и переключатели. Аппаратура управления. Аппаратура защиты. Электроизмерительные приборы, аппаратура сигнализации и другие устройства. Реле защиты. Выбор аппаратуры электrorаспределительных устройств.

#### **Тема 8. Генерирование и распределение электроэнергии.**

##### *Лекция 8.1*

##### *Рассматриваемые вопросы:*

Общие сведения. распределительные устройства: групповые и магистральные. Схема распределения электроэнергии и электрические сети. Расчет электрических сетей. Главные и аварийные электrorаспределительные щиты. Техническое обслуживание электрических станций и сетей.

#### **Тема 9. Автоматизированное управление электроэнергетическими системами (ЭЭС) судов.**

##### *Лекция 9.1*

##### *Рассматриваемые вопросы:*

Общие сведения. Системы автоматического управления приводными двигателями дизель-генераторов. Система автоматической синхронизации и включения синхронных генераторов на параллельную работу. Системы автоматического распределения нагрузок между параллельно работающими синхронными генераторами. Автоматические устройства ЭЭС. Принципы построения автоматизированных судовых электростанций. Основные положения по построению программ и алгоритмов управления автоматизированными электростанциями.

#### **Тема 10. Электрические сети (ЭС).**

##### *Лекция 10.1*

##### *Рассматриваемые вопросы:*

Классификация ЭС. Расчет ЭС. Пожаро- и электробезопасность СЭС. Контроль изоляции ЭС. Резервирование и переключение питания. Судовые кабели и провода.

## **Тема 11. Переходные процессы в ЭЭС судов.**

### *Лекция 11.1*

#### *Рассматриваемые вопросы:*

Общие сведения. Переходные процессы при включении и выключении электрических цепей. Переходные процессы в синхронном генераторе. Короткие замыкания (КЗ) в ЭЭС постоянного тока. КЗ в ЭЭС переменного тока. Определение токов КЗ. Трехфазное КЗ при автоматической стабилизации напряжения СГ. Практические методы расчета токов КЗ, определение отклонения напряжения синхронных генераторов при изменении нагрузки. Построение и использование математических моделей для расчета переходных режимов ЭЭС.

## **Тема 12. Эксплуатация СЭЭС.**

### *Лекция 12.1*

#### *Рассматриваемые вопросы:*

Общие сведения. Надежность СЭЭС. Контроль работоспособности СЭЭС. Диагностирование судовых систем управления (СУ). Эксплуатационные характеристики СЭЭС с человеком-оператором в контуре управления. Повышение эффективности СЭЭС. Электробезопасность. Ведение технической документации.

### **Темы и задания на практические занятия**

Расчет мощности судовой электростанции вероятностно-статистическими методами.

Расчет мощности СЭС эмпирическим методом нагрузочных таблиц.

Расчет устойчивости параллельной работы генератора с мощной системой.

Расчет изменения напряжения и частоты синхронного генератора.

Расчет устойчивости судовой электроэнергетической системы.

Расчет электрических сетей.

Расчет при помощи практических методов вычисления токов симметричного короткого замыкания.

Определение периодической составляющей тока КЗ с помощью расчетных кривых.

Определение напряжения и токов синхронного генератора при несимметричной нагрузке.

Расчет шин электrorаспределительных устройств.

Конкретные задания при выполнении практических работ приведены в методических указаниях к практическим занятиям и курсовому проектированию для курсантов и студентов специальности 26.05.07 «Эксплуатация электрооборудования судов и средств автоматики» [11].

## **5. Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся**

### **5.1. Внеаудиторная самостоятельная работа студентов**

Основными формами самостоятельной работы студентов при освоении дисциплины являются: проработка вопросов, выносимых на самостоятельное изучение, изучение основной и дополнительной литературы, конспектирование материалов, подготовка к практическим занятиям, выполнение курсового проекта, подготовка к промежуточной аттестации.

#### **Вопросы, вынесенные на самостоятельное изучение:**

Определения, понятие о СЭЭС, основные элементы, классификация и структурные схемы СЭЭС. Условия эксплуатации, режимы работы и показатели СЭЭС.

Основные параметры СЭЭС. Качество электрической энергии в СЭЭС. Судовые потребители электрической энергии и их деление на группы. Общие сведения о проектировании СЭЭС.

Определения, назначение, классификация электрических станций, требования Регистра к ним. Общие сведения о генераторных агрегатах, характеристика первичных двигателей и электромеханических генераторов.

Генераторы прямого преобразования тепловой и химической энергии в электрическую. Преобразователи электроэнергии. Электроснабжение судов от береговых сетей.

Расчет мощности судовой электростанции табличным, аналитическим методами. Выбор количества и мощности генераторных агрегатов.

Расчет мощности электростанции вероятностными методами. Аварийные источники электрической энергии на судах.

Аварийные электростанции, требования Регистра к ним. Аккумуляторы, основные параметры устройства, принцип действия, правила обслуживания, выбор аккумуляторов.

Системы автоматического регулирования напряжения и частоты: общие сведения, требования, принципы построения.

Системы автоматического регулирования, действующие по возмущению, отклонению, комбинированные системы и с каналом предупреждающей импульсной форсировки возбуждения.

Параллельная работа судовых генераторов. Распределение активных и реактивных нагрузок. Особенности параллельной работы вало- и дизельгенераторов.

Общие сведения, определения, классификация судовых электрических сетей, характеристика сетей. Судовые кабели: определение, назначение, электрическая и тепловая характеристики. Тепловое состояние кабеля, работающего в непрерывном режиме и периодическом. Тепловое состояние кабеля в режиме короткого замыкания. Характеристика проводов и шинпроводов.

Расчет судовых электрических сетей, контроль изоляции, электро- и пожаробезопасность сетей. Электрораспределительные щиты: определение, назначение, классификация, устройство.

Причины, виды и последствия короткого замыкания (КЗ) в СЭЭС. КЗ в СЭЭС постоянного тока. КЗ в СЭЭС переменного тока.

Токи КЗ синхронного генератора и асинхронного двигателя. Трехфазные КЗ при автоматической стабилизации напряжения синхронного генератора.

Определение тока в КЗ. Практические методы расчетов тока в КЗ. Упрощенный аналитический метод расчета токов в КЗ.

Электродинамическое и термическое действие токов в КЗ на элементы СЭЭС. Процессы в СЭ–ЭС при внезапном изменении нагрузки. Влияние автоматического регулятора напряжения на изменение напряжения синхронного генератора при набросе нагрузки.

Определение, изменение напряжения синхронного генератора при изменении нагрузки. Устойчивость СЭЭС: общие сведения, определение.

Статическая устойчивость. Динамическая устойчивость. Устойчивость асинхронной нагрузки.

Мероприятия по повышению статической и динамической устойчивостей. Построение и использование математических моделей для расчета переходных режимов СЭЭС.

Назначение, структура и основные требования, предъявляемые к защите. Виды и параметры переходных процессов, учитываемые при построении защиты СЭЭС.

Защита генераторов и преобразователей электроэнергии. Защита электрических сетей. Защита потребителей электрической энергии. Направления совершенствования защиты СЭЭС.

Основные типы систем управлений (СУ) СЭЭС. Принципы построения и структура СУ СЭЭС. Математический аппарат, применяемый для описания алгоритмов управления. Автоматизация процесса управления структурой СЭЭС.

Алгоритмическое описание процесса автоматического управления структурой СЭЭС. Алгоритм синхронизации генераторов. Алгоритм автоматического распределения активных нагрузок. Алгоритм управления включением запрограммированных потребителей электроэнергии.

СУ СЭЭС на функциональных устройствах, блоках и модулях. Принципы построения СУ. СУ СЭЭС с единым логическим управляющим устройством. СУ СЭЭС с применением микропроцессоров и микроЭВМ.

Общие сведения. Восприятие света. Основные светотехнические характеристики. Источники света: лампы накаливания, газоразрядные источники света.

Схемы включения ламп дугового разряда. Судовые светильники. Расчет электрического освещения. Навигационные огни. Аварийное освещение. Лампы специального назначения, эритемные

лампы.

## **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине представлен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;
- типовые контрольные задания или материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

### **Вопросы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (экзамен)**

1. Основные элементы, классификация и структурные схемы СЭЭС.
2. Условия эксплуатации, режимы работы и показатели СЭЭС.
3. Основные параметры СЭЭС. Качество электрической энергии в СЭЭС.
4. Судовые потребители электрической энергии и их деление на группы.
5. Назначение, классификация электрических станций Требования Регистра.
6. Генераторы прямого преобразования тепловой и химической энергии.
7. Преобразователи электроэнергии. Электроснабжение судов от береговых сетей.
8. Расчет мощности судовой электростанции табличным методом.
9. Расчет мощности судовой электростанции аналитическим методом.
10. Выбор количества и мощности генераторных агрегатов.
11. Расчет мощности электростанции вероятностными методами.
12. Аварийные источники электрической энергии на судах.
13. Аварийные электростанции, требования Регистра к ним.
14. Системы автоматического регулирования напряжения и частоты.
15. Параллельная работа судовых генераторов. Распределение активных и реактивных нагрузок.
16. Особенности параллельной работы вало- и дизельгенераторов.
17. Классификация судовых электрических сетей, характеристика сетей.
18. Судовые кабели: назначение, электрическая и тепловая характеристики.
19. Тепловое состояние кабеля, работающего в непрерывном и периодическом режиме.
20. Тепловое состояние кабеля в режиме короткого замыкания.
21. Характеристика проводов и шинпроводов.
22. Расчет судовых электрических сетей. Контроль изоляции.
23. Электрораспределительные щиты: назначение, классификация, устройство.
24. Виды и последствия короткого замыкания (КЗ) в СЭЭС постоянного и переменного тока.
25. Токи КЗ синхронного генератора и асинхронного двигателя.
26. Трехфазные КЗ при автоматической стабилизации напряжения синхронного генератора.
27. Практические методы расчетов тока в КЗ.
28. Упрощенный аналитический метод расчета токов в КЗ.
29. Электродинамическое и термическое действие токов в КЗ на элементы СЭЭС.
30. Процессы в СЭЭС при внезапном изменении нагрузки.
31. Влияние автоматического регулятора напряжения на изменение напряжения синхронного генератора при набросе нагрузки.
32. Устойчивость САЭЭС: общие сведения, определение.
33. Понятие статической устойчивости и динамической устойчивости.
34. Устойчивость асинхронной нагрузки.

35. Мероприятия по повышению статической и динамической устойчивостей.
36. Назначение, структура и основные требования, предъявляемые к защите СЭЭС.
37. Электрическая защита электрических сетей. Защита потребителей электрической энергии. Направления совершенствования защиты СЭЭС.
38. Электрическая защита генераторов и преобразователей
39. Основные типы систем управлений (СУ) СЭЭС. Принципы построения и структура СУ СЭЭС.
40. Автоматизация процесса управления структурой СЭЭС

## **7. Рекомендуемая литература**

### **7.1. Основная литература**

1. Краснов В.В. Основы теории и расчета судовых электроэнергетических систем. Моделирование для исследования специальных режимов: учеб. пособие / В.В. Краснов, П.А. Мещанинов, А.П. Мещанинов. – Л.: судостроение, 1989. – 328 с.
2. Баранов А.П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы: учебник для ВУЗов / А.П. Баранов. – М.: Транспорт, 1988. – 328 с. – 42 экз.)

### **7.2. Дополнительная литература**

3. Яковлев Г.С. Судовые электроэнергетические системы: учебник / Г.С. Яковлев. – 5-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1987. – 272 с.
4. Лейкин В.С. Автоматизированные электроэнергетические системы промысловых судов: учебник / В.С. Лейкин, В.А. Михайлов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 327 с.
5. Лейкин В.С. Судовые электрические станции и сети : учебник / В.С. Лейкин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1982. – 256 с.
6. Сухарев Е.М. Судовые электрические станции, сети и их эксплуатация: учебник / Е.М. Сухарев. – Л.: Судостроение, 1986. – 304 с.
7. Богомолов В.С. Судовые электроэнергетические системы и их эксплуатация: учебник / В.С. Богомолов. – М.: Мир, 2006. – 320 с.
8. Справочник судового электротехника: в 3-х томах. Том 1. Судовые электроэнергетические системы / Под общ. ред. Г.И. Китаенко. - Л.: Судостроение, 1980. – 528 с. (10 экз.)
9. Справочник судового электротехника: в 3-х томах. Том 2. Судовое электрооборудование / Под общ. ред. Г.И. Китаенко. - Л.: Судостроение, 1980. – 624 с. (16 экз.)
10. Справочник судового электротехника: в 3-х томах. Том 3. Судовое Технология электромонтажных работ / Под общ. ред. Г.И. Китаенко. - Л.: Судостроение, 1980. – 264 с. (11 экз.)

### **7.3. Методическое обеспечение:**

11. Белов О.А. Основы расчета и проектирования судовых электроэнергетических систем : методические указания к практическим занятиям и курсовому проектированию для студентов  
О.А. Белов. –Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2018. – 90 с.

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Электронно-библиотечная система «eLibrary»: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.elibrary.ru>

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

**Рекомендации по освоению лекционного материала, подготовке к лекциям.** Лекции являются основным видом учебных занятий в высшем учебном заведении. В ходе лекционного курса проводится изложение современных научных взглядов и освещение основных проблем изучаемой

области знаний. Значительную часть теоретических знаний студент должен получать самостоятельно из рекомендованных основных и дополнительных информационных источников (учебников, Интернет-ресурсов, электронной образовательной среды университета). В тетради для конспектов лекций должны быть поля, где по ходу конспектирования делаются необходимые пометки. В конспектах рекомендуется применять сокращения слов, что ускоряет запись. Вопросы, возникшие в ходе лекций, рекомендуется делать на полях и после окончания лекции обратиться за разъяснениями к преподавателю. После окончания лекции рекомендуется перечитать записи, внести поправки и дополнения на полях. Конспекты лекций рекомендуется использовать при подготовке к практическим занятиям и лабораторным работам, экзамену, контрольным тестам, коллоквиумам, при выполнении самостоятельных заданий.

**Рекомендации по подготовке к практическим занятиям.** Для подготовки к практическим занятиям необходимо заранее ознакомиться с перечнем вопросов, которые будут рассмотрены на занятии, рекомендуемой основной и дополнительной литературой. Необходимо прочитать соответствующие разделы из основной и дополнительной литературы, рекомендованной преподавателем, выделить основные понятия и процессы, их закономерности и движущие силы и взаимные связи. При подготовке к занятию не нужно заучивать учебный материал. На практических занятиях нужно выяснять у преподавателя ответы на интересующие или затруднительные вопросы, высказывать и аргументировать свое мнение.

**Рекомендации по организации самостоятельной работы.** Самостоятельная работа включает изучение учебной литературы, поиск информации в сети Интернет, подготовку к практическим занятиям, экзамену, выполнение самостоятельных практических заданий (рефератов, расчетно-графических заданий/ работ, оформление отчетов по лабораторным работам и практическим заданиям, решение задач, изучение теоретического материала, вынесенного на самостоятельное изучение, изучение отдельных функций прикладного программного обеспечения и т.д.).

**Подготовка к экзамену.** При подготовке к экзамену большую роль играют правильно подготовленные заранее записи и конспекты. В этом случае остается лишь повторить пройденный материал, учесть, что было пропущено, восполнить пробелы, закрепить ранее изученный материал. В ходе самостоятельной подготовки к экзамену при анализе имеющегося теоретического и практического материала курсанту (студенту) также рекомендуется проводить постановку различного рода задач по изучаемой теме, что поможет в дальнейшем выявлять критерии принятия тех или иных решений, причины совершения определенного рода ошибок. При ответе на вопросы, поставленные в ходе самостоятельной подготовки, обучающийся вырабатывает в себе способность логически мыслить, искать в анализе событий причинно-следственные связи.

## **10. Курсовой проект**

### ***10.1. Цель и задачи курсового проектирования***

Целью курсового проектирования является углубленное изучение теоретического материала по дисциплине ознакомление с основными приемами инженерной методики расчета и проектирования судовых автоматизированных электроэнергетических систем с учетом использования новейших достижений в области их проектирования и производства; подготовка курсантов к самостоятельному решению задач при расчете, проектировании, ремонте и эксплуатации судовых автоматизированных электроэнергетических систем

Задачей курсового проекта является расчет и проектирование судовой автоматизированной электроэнергетической системы конкретного судна согласно заданию.

При этом необходимо выполнить:

- составление таблиц электрических нагрузок;
- расчет мощности электростанции;
- выбор генераторов и трансформаторов;

- расчет и выбор аварийного генератора;
- расчет и формирование судовых аккумуляторных батарей;
- разработка системы распределения электроэнергии;
- расчет и выбор шин ГРЩ;
- расчет и выбор кабеля для потребителя;
- расчет токов короткого замыкания;
- выбор защитной и коммутационной аппаратуры;
- расчет провала напряжения при пуске мощного асинхронного двигателя;
- разработку схемы автоматизация СЭЭС;
- выбор электроизмерительных приборов.

## **10.2. Организация проектирования**

Курсовой проект студент выполняет по индивидуальному заданию, которое выдает руководитель курсового проектирования. Сроки выполнения курсового проекта указываются в учебном графике.

Законченный курсовой проект следует представить на проверку.

Чертежи необходимо выполнять в соответствии с требованиями ЕСКД. Полностью оформленный курсовой проект (пояснительная записка и чертежи) студент обязан представить на кафедру для окончательного заключения и получения разрешения на защиту не позже срока, указанного в учебном графике.

## **11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационно-справочных систем**

### **11.1 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса:**

1. электронные образовательные ресурсы, представленные в п. 6 и 7 данной рабочей программы;
2. использование слайд-презентаций;
3. интерактивное общение с обучающимися и консультирование посредством электронной почты.

### **11.2. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса**

При освоении дисциплины используется лицензионное программное обеспечение:

1. текстовый редактор Microsoft Word;
2. электронные таблицы Microsoft Excel;
3. презентационный редактор Microsoft Power Point.

## **12. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

1. для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, самостоятельной работы учебная аудитория № 3-413 с комплектом учебной мебели на 32 посадочных места;
2. доска аудиторная;
3. комплект лекций по темам курса «Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем»;
4. мультимедийное оборудование (ноутбук, проектор);
5. лабораторные стенды;

6. кодоскоп;
7. комплект слайдов для кодоскопа.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Факультет МОРЕХОДНЫЙ

Кафедра «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВ»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан мореходного факультета



С.Ю. Труднев

«23» октября 2024 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Основы расчёта и проектирования электроэнергетических систем»**

по направлению подготовки  
13.03.02 «Энергетика и электротехника»  
(уровень бакалавриат)

профиль: «Электрооборудование и автоматика судов»  
квалификация: бакалавр

Петропавловск-Камчатский  
2024

Фонд оценочных средств дисциплины составлен на основании ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Энергетика и электротехника» (уровень бакалавриат), учебного плана подготовки специалистов, принятого на заседании ученого совета ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» 02.10.2024 г., протокол № 2

Составитель фонда оценочных средств  
Зав кафедрой «ЭУЭС»



(подпись)

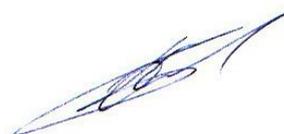
Белов О.А.  
(ФИО.)

Фонд оценочных средств рассмотрен на заседании кафедры «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«17» октября 2024 г, протокол № 4

Заведующий кафедрой «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«23» октября 2024 г.



Белов О.А.

### АКТУАЛЬНО НА

2025 / 2026 учебный год



(подпись)

Белов О.А.  
(ФИО. зав.кафедрой)

2026 / 2027 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

2027 / 2028 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

2028 / 2029 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

2029 / 2030 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации студентов по дисциплине «**Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем**» представлен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

1. паспорт фонда оценочных средств по дисциплине;
2. перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
3. описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание их шкал оценивания;
4. методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.

## 1 Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине «Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем»

№	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Введение. Общие сведения об электроэнергетических системах судов.	ПК-2, ПК-3; ПК-4	Конспект лекций по темам, защита отчета по ПР
2	Источники электрической энергии на судах.		
3	Автоматические системы стабилизации напряжения и частоты судовых генераторов.		
4	Аккумуляторные батареи.		
	Выбор мощности и количества генераторных агрегатов судовых электростанций (СЭС).		
	Работа источников, преобразователей и накопителей электрической энергии (ЭЭ).		
	Аппаратура электrorаспределительных устройств.		
	Генерирование и распределение электроэнергии.		
	Автоматизированное управление электроэнергетическими системами (ЭЭС) судов.		
	Электрические сети (ЭС).		
	Переходные процессы в ЭЭС судов.		
	Эксплуатация СЭЭС.		

## 2 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Наименование контролируемой компетенции	Наименование дисциплины формирующей компетенцию	Этапы формирования компетенции (курсы изучения)				
				1	2	3	4	5
1	ПК-2	Способен обосновывать планы и программы технического обслуживания и ремонта оборудования электрических сетей	Микропроцессорные системы управления					5
			Элементы и функциональные устройства судовой автоматики			3		
			Судовые автоматизированные электроэнергетические системы					5
			Основы технической эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики			3		
			Гребные электрические установки					5
			<b>Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем</b>					5
			Производственная практика			3	4	
2	ПК-3	Способен планировать и вести деятельность по техническому	Теория и устройство судна		2			
			Судовые автоматизированные электроэнергетические системы					5
			Основы технической эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматизации			3		

		обслуживанию и ремонту электрооборудования	<b>Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем</b>					5
			Производственная практика			3	4	
3	ПК-4	Способен осуществлять управление деятельностью по техническому обслуживанию и ремонту электроустановок	Разрабатывать предложения по текущему и перспективному планированию работ по техническому обслуживанию, ремонту		2			5
			Техническое обслуживание и ремонт кабельных линий			3		
			<b>Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем</b>					5
			Производственная практика			3	4	
			Итоговая государственная аттестация					5

Контроль поэтапного формирования результатов освоения дисциплины для студентов заочной формы обучения осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации в ходе выполнения заданий на практических занятиях, выполнении заданий, вынесенных на самостоятельную работу (СР), выполнении курсового проекта, а также при сдаче экзамена на 5 курсе.

### **3 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание их шкал оценивания**

#### **Критерии выставления оценок за практическую работу**

Оценка «**отлично**» выставляется, если студент показал глубокие знания и понимание программного материала по теме практической работы, умело увязывает лекционный материал с практикой, грамотно и логично строит ответ на контрольные вопросы.

Оценка «**хорошо**» выставляется, если студент твердо знает программный материал по теме практической работы, грамотно его излагает, не допускает существенных неточностей в ответе на контрольные вопросы. Правильно применяет полученные знания при решении практических вопросов.

Оценка «**удовлетворительно**» выставляется, если студент имеет знания только основного материала по поставленным контрольным вопросам, но не усвоил его деталей, для принятия правильного решения требует наводящих вопросов, допускает отдельные неточности или недостаточно четко излагает учебный материал по теме практической работы.

Оценка «**неудовлетворительно**» выставляется, если студент допускает грубые ошибки в ответе на контрольные вопросы, не может применять полученные знания на практике.

#### **Критерии выставления оценок за самостоятельную работу**

Оценка «**отлично**» выставляется, если студент показал глубину проработки темы самостоятельной работы, умело привязывает материал к области практического применения и показал высокий уровень освоения изложенного материала.

Оценка «**хорошо**» выставляется, если студент показал глубину проработки темы самостоятельной работы, умело привязывает материал к области практического применения, показал достаточно высокий уровень освоения изложенного материала, однако при оформлении конспекта допускает многочисленные ошибки в схемах радиотехнических цепей и при вы- во-дах основных выражений.

Оценка «**удовлетворительно**» выставляется, если студент показал глубину проработки темы самостоятельной работы, показал удовлетворительный уровень освоения изложен-

ного материала, однако не увязывает изложенный материал с областью практического применения, при оформлении конспекта допускает грубые ошибки в схемах радиотехнических цепей и при выводах основных выражений.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется, если студент провел поверхностное изучение темы самостоятельной работы, показал неудовлетворительный уровень освоения изложенного материала, не увязывает изложенный материал с областью практического применения, при оформлении конспекта допускает грубые ошибки в схемах радиотехнических цепей и при выводах основных выражений.

### **Критерии выставления оценок за курсовой проект**

Оценка **«отлично»** выставляется, если студент свободно увязывает принятые им способы решения поставленных задач с теоретическими положениями, легко ориентируется в написанном им тексте, работа оформлена технически грамотно.

Оценка **«хорошо»** выставляется, если студент может обосновать применённые способы решения задач, но может допускать мелкие ошибки, свободно понимает, как их можно исправить, работа оформлена в основном технически грамотно.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется, если студент увязывает принятые им способы решения поставленных задач с теоретическими положениями посредством наводящих вопросов, иногда с затруднениями понимает, как можно исправить мелкие ошибки, имеются погрешности в оформлении работы.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется, если выясняется, что студент выполнил курсовую работу (контрольную работу или РГР) формально, без понимания принципов решения поставленных задач, не ориентируется в написанном им тексте, при защите не понимает, как исправить допущенные ошибки.

студент не сдавший РГР, контрольные, а также не выполнивший практические работы до зачета не допускается.

### **Критерии оценки знаний, умений и навыков на экзамене**

Оценка курсанту/студенту на зачете может быть выставлена по текущим оценкам приобретенных практических навыков в ходе прохождения практики и при наличии конспекта вопросов, отданных на самостоятельное изучение **при условии отсутствия пропусков занятий без уважительной причины.**

При несоблюдении данных условий студент дополнительно проходит собеседование по теоретическим вопросам. В случае несогласия курсанта с выставляемой оценкой по результатам выполнения практических заданий в семестре ему предоставляется шанс повысить данную оценку посредством теоретических вопросов.

По результатам собеседования студенту выставляется оценка:

**«отлично»**, если студент показал глубокие знания и понимание программного материала по поставленному вопросу, умело увязывает его с практикой, грамотно и отлично строит ответ, быстро принимает оптимальные решения при решении практических вопросов и задач, безусловно владеет правилами работы с контрольно-измерительной аппаратурой;

**«хорошо»**, если студент твердо знает программный материал, грамотно его излагает, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет полученные знания при решении практических вопросов и задач, владеет приемами работы с контрольно-измерительной аппаратурой;

**«удовлетворительно»**, если студент имеет знания только основного материала по поставленному вопросу, но не усвоил деталей, требует в отдельных случаях наводящего вопроса для принятия правильного решения, допускает отдельные неточности и недостаточно четко выполняет правила работы с контрольно-измерительной аппаратурой;

**«неудовлетворительно»**, если студент допускает грубые ошибки в ответе на поставленный вопрос, не может применить полученные знания на практике, неуверенно работает с контрольно-измерительной аппаратурой.

## Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации

1. Основные элементы, классификация и структурные схемы СЭЭС.
  2. Условия эксплуатации, режимы работы и показатели СЭЭС.
  3. Основные параметры СЭЭС. Качество электрической энергии в СЭЭС.
  4. Судовые потребители электрической энергии и их деление на группы.
  5. Назначение, классификация электрических станций Требования Регистра.
  6. Генераторы прямого преобразования тепловой и химической энергии.
  7. Преобразователи электроэнергии. Электроснабжение судов от береговых сетей.
  8. Расчет мощности судовой электростанции табличным методом.
  9. Расчет мощности судовой электростанции аналитическим методом.
  10. Выбор количества и мощности генераторных агрегатов.
  11. Расчет мощности электростанции вероятностными методами.
  12. Аварийные источники электрической энергии на судах.
  13. Аварийные электростанции, требования Регистра к ним.
  14. Системы автоматического регулирования напряжения и частоты.
  15. Параллельная работа судовых генераторов. Распределение активных и реактивных нагрузок.
  16. Особенности параллельной работы вало- и дизельгенераторов.
  17. Классификация судовых электрических сетей, характеристика сетей.
  18. Судовые кабели: назначение, электрическая и тепловая характеристики.
  19. Тепловое состояние кабеля, работающего в непрерывном и периодическом режиме.
  20. Тепловое состояние кабеля в режиме короткого замыкания.
  21. Характеристика проводов и шинпроводов.
  22. Расчет судовых электрических сетей. Контроль изоляции.
  23. Электрораспределительные щиты: назначение, классификация, устройство.
  24. Виды и последствия короткого замыкания (КЗ) в СЭЭС постоянного и переменного тока.
  25. Токи КЗ синхронного генератора и асинхронного двигателя.
  26. Трехфазные КЗ при автоматической стабилизации напряжения синхронного генератора.
  27. Практические методы расчетов тока в КЗ.
  28. Упрощенный аналитический метод расчета токов в КЗ.
  29. Электродинамическое и термическое действие токов в КЗ на элементы СЭЭС.
  30. Процессы в СЭЭС при внезапном изменении нагрузки.
  31. Влияние автоматического регулятора напряжения на изменение напряжения синхронного генератора при набросе нагрузки.
  32. Устойчивость САЭЭС: общие сведения, определение.
  33. Понятие статической устойчивости и динамической устойчивости.
  34. Устойчивость асинхронной нагрузки.
  35. Мероприятия по повышению статической и динамической устойчивостей.
  36. Назначение, структура и основные требования, предъявляемые к защите СЭЭС.
  37. Электрическая защита электрических сетей. Защита потребителей электрической энергии.
- Направления совершенствования защиты СЭЭС.
38. Электрическая защита генераторов и преобразователей
  39. Основные типы систем управлений (СУ) СЭЭС. Принципы построения и структура СУ СЭЭС.
  40. Автоматизация процесса управления структурой СЭЭС

Критерии оценки:	
20-25 баллов выставляется	отлично
15-20 баллов выставляется	хорошо
10-15 баллов выставляется	удовлетворительно
5-10 баллов выставляется	неудовлетворительно

## Методические указания к выполнению курсового проекта

По учебному плану дисциплины «**Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем**» предусмотрено выполнение курсового проекта.

Целью курсового проектирования является приобретение практических навыков в инженерных расчетах, в использовании теоретических знаний, полученных на лекциях, в умении пользоваться справочной литературой, в выборе конкретного электрооборудования согласно расчетам.

В задачи проектирования входит расчет судовой электростанции и выбор генератора, формирование аккумуляторных батарей, расчет и выбор аппаратов управления и защиты, кабельных линий, шин распределительных устройств, электроизмерительных приборов. Одна из задач проектирования предусматривает приобретение умений в расчетах токов короткого замыкания и проверка устойчивости в этих условиях выбранной аппаратуры и шинопроводов.

Проектирование ведется в соответствии с индивидуальным заданием и планом-графиком, предусматривающим поэтапный контроль выполнения проекта. По основным разделам проекта даются групповые консультации, при необходимости – индивидуальные.

При выполнении расчетов следует соблюдать следующие правила: расчет искомой величины необходимо начинать с написания формулы в символическом выражении и только после этого – с числовыми значениями; каждый раз указывать название и размерность всех заданных и вычисляемых величин; построение графических характеристик выполнять на миллиметровой бумаге с обязательным цифровым обозначением шкал по осям координат, возможно применение компьютерной графики; результаты некоторых громоздких расчетов рекомендуется заносить в таблицы, формы которых будут указаны ниже в соответствующих разделах настоящих методических указаний.

Задание на проектирование выдается каждому студенту и содержит в себе тип судна, район его плавания, водоизмещение, напряжение сетей постоянного и переменного тока, тип главного двигателя. В задании имеются разделы, характеризующие судовую электроэнергетическую систему и условия ее эксплуатации.

Для оценивания **курсового проекта** возможно, использовать следующие критерии оценивания:

Код показателя оценивания	Зачтено	Не зачтено
Знания	Тема соответствует содержанию проекта; Широкий круг и адекватность использования литературных источников по проблеме; Правильное оформление ссылок на используемую литературу; Основные понятия проблемы изложены полно и глубоко; Отмечена грамотность и культура изложения; Соблюдены требования к оформлению и объему проекта.	Содержание не соответствует заявленной теме; Литературные источники выбраны не по теме, не актуальны; Нет ссылок на использованные источники информации; Тема не раскрыта; В изложении встречается большое количество орфографических и стилистических ошибок; Требования к оформлению и объему материала не соблюдены.
Умения	Материал систематизирован и структурирован; Сделаны обобщения и сопоставления различных точек зрения по рассматриваемому вопросу; Сделаны и аргументированы основные выводы; Отчетливо видна самостоятельность суждений	Структура реферата, доклада не соответствует требованиям; Содержание реферата, доклада не соответствует заявленной теме; Не проведен анализ материалов реферата, доклада; Нет выводов; Плагиат свыше 60%.

### **Методические указания по выполнению курсового проекта**

Перечень заданий к расчетно-графической работе, а также методические указания по их выполнению указаны в учебно-методическом пособии *Ушакевич А.А. Основы расчета и проектирования судовых электроэнергетических систем : методические указания и задания к курсовой работе для студентов очной и заочной форм обучения / А.А. Ушакевич. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012. – 27 с.*

#### **4 Методические материалы определяющие, процедуры оценивания знаний, умений, навыков и или опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Оценка знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций по дисциплине проводятся в форме текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

Текущий контроль проводится в течение сессии с целью определения уровня усвоения обучающимися знаний, формирования умений и навыков, своевременного выявления преподавателем недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по её корректировке, а так же для совершенствования методики обучения, организации учебной работы и оказания индивидуальной помощи обучающемуся.

Промежуточная и итоговая аттестации по дисциплине проводится в виде контрольного опроса.

За знания, умения и навыки, приобретенные обучающимися в период их обучения, выставляются оценки: «ОТЛИЧНО», «ХОРОШО», «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО», «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО».

Для оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в университете применяется балльно-рейтинговая система оценки качества освоения образовательной программы.

Оценка проводится при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций обучающихся.

Рейтинговая оценка знаний является интегрированным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из следующих компонентов:

##### **Состав балльно-рейтинговой оценки знаний студентов**

Виды контроля	Максимальное количество баллов по уровням освоения компетенций			
	знать	уметь	владеть	всего
Активность на лекционных занятиях	7	5	3	15
Поощрительные баллы (написание рефератов, доклада (с презентацией), написание статей, участие в конференциях, круглых столах, участие в конкурсах)	15	15	5	35
Результаты работы на практических занятиях (решение задач, выполнение, РГР)	9	8	8	25
Итого	31	28	16	75

Процедура оценивания – порядок действий при подготовке и проведении аттестационных испытаний и формировании оценки.

Аттестационные испытания проводятся ведущим преподавателем по данной дисциплине. Присутствие посторонних лиц в ходе проведения аттестационных испытаний без разрешения ректора или проректора не допускается (за исключением работников университета, выполняющих контролирующие функции в соответствии со своими должностными обязанностями). В случае отсутствия ведущего преподавателя аттестационные испытания проводятся преподавателем, назначенным письменным распоряжением заведующим кафедрой.

Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, допускаются на аттестационные испытания в сопровождении ассистентов-сопровождающих.

– Во время аттестационных испытаний обучающиеся могут пользоваться программой учебной дисциплины, а также с разрешения преподавателя справочной и нормативной литературой, калькуляторами.

–Время подготовки ответа при сдаче зачета/экзамена в устной форме должно составлять не менее 20/30 минут соответственно, (по желанию обучающегося ответ может быть досрочным).  
Время ответа – не более 15 минут.

–Оценка результатов устного аттестационного испытания объявляется обучающимся в день его проведения. При проведении письменных аттестационных испытаний или компьютерного тестирования – в день их проведения или не позднее следующего рабочего дня после их проведения.

–Результаты выполнения аттестационных испытаний, проводимых в письменной форме, форме итоговой контрольной работы или компьютерного тестирования, должны быть объявлены обучающимся и выставлены в зачётные книжки не позднее следующего рабочего дня после их проведения.

По итогам проведения промежуточной и итоговой аттестации все заработанные курсантом и студентом баллы переводятся в оценки:

- «Отлично» - от 85 до 100 баллов.
- «Хорошо» - от 70 до 84 баллов
- «Удовлетворительно» - от 55 до 69 баллов
- «Неудовлетворительно» - 54 и менее баллов.

**Итоговое оценивание обучающегося по дисциплине «Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем»**

Оценка в баллах	Оценка по шкале	Обоснование	Уровень сформированности компетенций
От 85-100	«Отлично» («зачтено»)	Теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.	Высокий уровень
От 70-84	«Хорошо» («зачтено»)	Теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые виды заданий выполнены с несущественными ошибками.	Продвинутый уровень
От 55-69	«Удовлетворительно» («зачтено»)	Теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.	Пороговый уровень
54 и менее	«Неудовлетворительно» («не зачтено»)	Теоретическое содержание курса не освоено, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом не сформированы, выполненные учебные задания содержат грубые ошибки. Обучающийся частично ответил на вопросы по билету, на дополнительные вопросы ответов не прозвучало.	Компетенции не сформированы

Максимальная сумма баллов, набираемая обучающимся по дисциплине «**Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем**» в течении зачетно-экзаменационной сессии равна 100 баллам.

Количество баллов за промежуточный рейтинг – максимально 25 баллов;

Количество баллов за дополнительный рейтинг – максимально 75 баллов.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Камчатский государственный технический университет»  
Мореходный факультет  
Кафедра «Энергетические установки и электрооборудование судов»

## **ОСНОВЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Методические указания к практической работе

*для студентов,*

*обучающихся по специальности 13.03.02*

*«Электроэнергетика и электротехника»*

*профиль «Электрооборудование и*

*автоматика судов»*

*заочной формы обучения*

Петропавловск-Камчатский

2024

Рецензент

**Белов Олег Александрович, к.т.н., доцент кафедры ЭУЭС**

Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем: методические указания к практической работе по дисциплине для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» заочной формы обучения / О.А. Белов – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2024. – с.33

Методические указания к практической работе составлены в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов», утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 28 февраля 2018 г. № 144 (уровень бакалавриат).

Обсуждены:

на заседании кафедры ЭУЭС «17» октября 2024 г., протокол № 4

Зав. кафедрой ЭУЭС  \_\_\_\_\_ О.А. Белов

Методические указания к практической работе по дисциплине «Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем» рассмотрены и утверждены на заседании УМС протокол № 2 от «02» октября 2024 г.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Практическая работа студентов (ПРС) по дисциплине «Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем» является важной составляющей частью подготовки студентов по специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» и выполняется в соответствии с ФГОС ВО. Основной целью ПРС является:

- развитие навыков ведения самостоятельной работы;
- приобретение опыта систематизации полученных результатов исследований, формулировку новых выводов и предложений как результатов выполнения работы;
- развитие умения использовать научно-техническую литературу и нормативно-методические материалы в практической деятельности;
- приобретение опыта публичной защиты результатов самостоятельной работы.

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» изучение дисциплины «Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем» направлено на формирование у выпускника следующей универсальной компетенции:

- Способен обосновывать планы и программы технического обслуживания и ремонта оборудования электрических сетей (**ПК-2**);
- способность осуществлять управление деятельностью по техническому обслуживанию и ремонту электроустановок (**ПК-4**);

Способен планировать и вести деятельность по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования (**ПК-3**).

1.2. В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- организационно-распорядительные, нормативно-технические и методические документы по вопросам эксплуатации высоковольтных линий электропередачи;
- основы экономики и организации производства, труда и управления в энергетике;
- правила технической эксплуатации электрических станций, сетей: техническое обслуживание и ремонт силовых кабелей;
- правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: техническое обслуживание и ремонт силовых кабелей;
- правила организации технического обслуживания и ремонта оборудования, зданий и сооружений электростанций и сетей;

- правила пользования инструментом и приспособлениями, применяемыми при ремонте и монтаже энергетического оборудования;
- законодательные и нормативно-правовые акты, методические материалы по вопросам производственного планирования и оперативного управления производством;
- нормальные, аварийные, послеаварийные и ремонтные режимы эксплуатации оборудования, закрепленного за подразделением;
- организационно-распорядительные, нормативно-технические и методические документы по вопросам эксплуатации высоковольтных линий электропередачи;
- основы трудового законодательства Российской Федерации в объеме, необходимом для выполнения трудовых обязанностей;
- требования охраны труда, промышленной и пожарной безопасности и производственной санитарии, регламентирующие деятельность по трудовой функции
- требования охраны труда, промышленной и пожарной безопасности, производственной санитарии и противопожарной защиты, регламентирующие деятельность по трудовой функции;
- инструкции по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве;
- законодательные и нормативные правовые акты, методические материалы по вопросам производственного планирования и оперативного управления производством;
- нормативные правовые акты и методические документы по вопросам деятельности подразделения;
- положения и инструкции по расследованию и учету технологических нарушений, несчастных случаев на производстве;
- методы анализа качественных показателей работы оборудования подстанций электрических сетей;
- принципы и правила производственного планирования в организации в части технического обслуживания и ремонта оборудования подстанций электрических сетей;
- нормативные правовые акты, определяющие направления развития электроэнергетики;
- методики проведения противоаварийных и противопожарных тренировок;
- правила работы с персоналом в организациях электроэнергетики;
- основы трудового законодательства Российской Федерации.

### 1.3. В результате изучения дисциплины студент должен уметь:

- – вести техническую и отчетную документацию;

- планировать и организовывать работу подчиненных работников;
  - применять автоматизированные системы мониторинга и диагностики кабельных линий электропередачи;
  - применять справочные материалы, анализировать научно-техническую информацию в области эксплуатации кабельных линий электропередачи;
  - проводить визуальные и инструментальные обследования и испытания;
  - работать с текстовыми редакторами, электронными таблицами, электронной почтой и браузерами, специализированными компьютерными программами;
  - разрабатывать предложения по текущему и перспективному планированию работ по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередач;
  - вести техническую и отчетную документацию;
  - организовывать деятельность по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередачи;
- 
- организовывать работу при внедрении новых устройств;
  - планировать и организовывать работу подчиненных работников;
  - планировать производственную деятельность, ремонт оборудования кабельных линий электропередачи;
  - разрабатывать предложения по текущему и перспективному планированию работ по техническому обслуживанию, ремонту;
  - принимать управленческие решения на основе анализа оперативной рабочей ситуации;
  - оценивать результаты своей деятельности и деятельности подчиненных;
  - формулировать задания подчиненному персоналу по техническому обслуживанию и ремонту оборудования подстанций электрических сетей;
  - организовывать рабочие места, их техническое оснащение;
  - контролировать деятельность, исполнение решений;
- оценивать потребность в дополнительной подготовке персонала исходя из профиля должности и квалификации работников.

#### 1.4. В результате изучения дисциплины студент должен владеть:

- навыками оформления заявок на оборудование, материалы, запасные части, и др. необходимые для технического обслуживания и ремонта материальные ресурсы, а также проектно-конструкторскую и нормативно-техническую документацию, контроль выполнения заявок;
- навыками подготовки предложений в планы-графики осмотров, ремонта и технического обслуживания кабельных линий электропередачи;
- контролирует подготовку исходных и технических условий для проектирования строительства и реконструкции высоковольтных линий электропередачи;

- контроль подготовки планов-графиков осмотров, ремонта и технического обслуживания кабельных линий и контроль их выполнения;
- навыками контроля подготовки утвержденных дефектных ведомостей, проектов проведения работ и карт организации труда;
- навыками проведения аттестации и подготовки к сертификации рабочих мест на соответствие требованиям охраны труда;
- проверяет корректность расчетов, выполненных с целью обоснования планов и программ деятельности по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередач;
- навыками контроля состояния и ведения технической документации в курируемом подразделении;
- организует ведение договорной работы для обеспечения технического обслуживания и ремонта кабельных линий электропередачи;
- организует документационное сопровождение деятельности по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередачи, сооружений, контроль ведения исполнительной документации;
- организует оформление графиков освидетельствования;
- навыками организации планирования потребности в материальных ресурсах для технического обслуживания и ремонта кабельных линий электропередачи;
- организует разработки и согласование технических условий, технических заданий по обеспечению технического обслуживания и ремонта кабельных линий электропередачи;
- подготавливает проекты текущих и перспективных планов работы подразделения, графиков выполнения отдельных работ (мероприятий), согласование условий и сроков их выполнения с заинтересованными лицами (подразделениями) организации, а также с заказчиками и соисполнителями, доведение утвержденных плановых заданий до подчиненного персонала;
- расследует причины технологических нарушений в работе оборудования, несчастных случаев;
- навыками распределения производственных задач для подчиненного персонала, расстановка персонала по участкам, бригадам, обслуживаемым объектам;
- организации обеспечения рабочих мест персонала нормативной, методической, проектной документацией и инструкциями по техническому обслуживанию и ремонту оборудования подстанций электрических сетей;
- контроль сроков и качества работ подчиненного персонала по техническому обслуживанию и ремонту оборудования подстанций электрических сетей;
- контроль соблюдения подчиненным персоналом производственной и трудовой дисциплины, своевременности прохождения проверки знаний и медицинских осмотров;

- организует разработку и пересмотра должностных инструкций подчиненного персонала;
- организация и контроль соблюдения подчиненным персоналом требований промышленной, пожарной, экологической безопасности и охраны труда в процессе работы по техническому обслуживанию и ремонту оборудования подстанций электрических сетей, принятие мер по устранению выявленных нарушений;
- организация и проведение инструктажей, тренировок, технической учебы персонала по работе с закрепленным оборудованием подстанций электрических сетей, по охране труда, пожарной и промышленной безопасности.

## 2. СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АБ	- аккумуляторная батарея;
АД	- асинхронный двигатель;
АДГ	- аварийный дизель-генератор;
АПС	- аварийно-предупредительная сигнализация;
АРН	- автоматический регулятор напряжения;
АРЧ	- автоматический регулятор частоты;
АРЩ	- аварийный распределительный щит;
ВГ	- валогенератор;
ВРШ	- винт регулируемого шага;
ГРЩ	- главный распределительный щит;
ДАУ	- дистанционное автоматическое управление;
ДГ	- дизель-генератор;
ДВС	- двигатель внутреннего сгорания;
ДГА	- дизель-генераторный агрегат;
КЗ	- короткое замыкание;
КПД	- коэффициент полезного действия;
МО	- машинное отделение;
ОВГ	- обмотка возбуждения генератора;
ПЭ	- потребитель электроэнергии
РЩ	- распределительный щит;
СГ	- синхронный генератор;
СЭС	- судовая электростанция;
СЭЭС	- судовая электроэнергетическая система;
ТГ	- турбогенератор;
ТН	- трансформатор напряжения;
ТТ	- трансформатор тока;
ЦПУ	- центральный пост управления;
ЩПБ	- щит питания с берега

### **3. ВВЕДЕНИЕ**

Электроэнергетическая система – основная система судна, т.к. живучесть, безопасность мореплавания, эффективность работы судна определяется результативностью ее функционирования. Следовательно, перечисленные показатели судна однозначно определяются качеством расчета и проектирования СЭЭС. Таким образом, целью изучения дисциплины «Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем» являются основные методы проектирования, расчета и моделирования системы для обеспечения высоких технико-эксплуатационных и экономических показателей как источников электрической энергии, так и различного характера потребителей. Является обязательной дисциплиной специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» и ее изучение обеспечивает необходимый уровень профессиональной подготовки специалистов электромехаников, специализирующихся в области технической эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматизации.

Важность дисциплины вытекает из ее названия. Фундаментом безопасности мореплавания судна, его высокой эффективности в работе являются точное проектирование, расчет и моделирование всех судовых систем, в том числе и СЭЭС. Дисциплина ОРИП ЭЭС охватывает расчет и выбор элементов СЭЭС, исследование (математическое моделирование на основе ЭВМ) систем автоматического управления и регулирования, проверку выбранных элементов СЭЭС на падения и потери напряжения, электродинамическую и электротермическую устойчивость, регулировку по току и времени срабатывания.

Цель преподавания дисциплины заключается в подготовке специалиста, владеющего методикой решения определенных технических задач и разработкой конструкторской документации.

Задачи при изучении дисциплины: научить студентов применять полученные теоретические знания к решению практических задач проектирования, эксплуатации и ремонта современных судовых систем.

## **4. ЗАДАЧИ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **4.1. Содержание дисциплины**

**Тема 1. Введение. Общие сведения об электроэнергетических системах судов.**

*Лекция*

Классификация ЭЭС. Потребители электроэнергии. Параметры ЭЭС. Требования к судовому электрооборудованию.

*Практическое занятие*

Расчет мощности судовой электростанции вероятностно-статистическими методами.

Расчет мощности СЭС эмпирическим методом нагрузочных таблиц.

## **Тема 2. Источники электрической энергии на судах.**

### *Лекция*

Общие сведения. Судовые генераторы. Генераторные установки отбора мощности. Обслуживание судовых генераторов. Аккумуляторы электрической энергии. Электромашинные и статические преобразователи.

### *Практическое занятие*

Расчет мощности СЭС методом аналитического определения параметров распределения нагрузки.

Расчет мощности СЭС методом статистического моделирования с применением вычислительных машин.

## **Тема 3. Автоматические системы стабилизации напряжения и частоты судовых генераторов.**

### *Лекция*

Основные определения и классификация. Системы автоматической стабилизации напряжения судовых генераторов постоянного тока. Системы автоматической стабилизации напряжения синхронных генераторов. Системы автоматической стабилизации частоты вращения приводных двигателей. Системы автоматического регулирования напряжения по его отклонению. Системы автоматического регулирования напряжения по внешнему воздействию. Комбинированные системы автоматического регулирования напряжения. Самовозбуждение генераторов.

### *Практическое занятие*

Расчет устойчивости параллельной работы генератора с мощной системой.

## **Тема 4. Аккумуляторные батареи.**

### *Лекция*

Применение аккумуляторных батарей. Определение их емкости. Щелочные аккумуляторные батареи. Кислотные аккумуляторные батареи. Зарядка аккумуляторных батарей. Зарядные устройства.

### *Практическое занятие*

Расчет изменения напряжения в установках постоянного и переменного тока.

## **Тема 5. Выбор мощности и количества генераторных агрегатов судовых электростанций (СЭС).**

### *Лекция*

Общие сведения. Табличный метод определения мощности СЭС. Аналитический метод определения мощности СЭС. Вероятностный метод определения мощности СЭС.

### *Практическое занятие*

Расчет изменения напряжения и частоты синхронного генератора с использованием вычислительных машин.

## **Тема 6. Работа источников, преобразователей и накопителей электрической энергии (ЭЭ).**

### *Лекция*

Общие сведения о режимах работы. Параллельная работа генераторов постоянного тока. Параллельная работа синхронных генераторов. Включение генераторов на параллельную работу. Распределение нагрузок между параллельно работающими генераторами. Параллельная работа трансформаторов. Параллельная работа генератора постоянного тока и аккумуляторной батареи. Особенности использования валогенераторов. Электрические станции серийных судов. Аварийные электростанции.

### *Практическое занятие*

Расчет устойчивости СЭЭС.

## **Тема 7. Аппаратура электrorаспределительных устройств.**

### *Лекция*

Общие сведения. Автоматические выключатели. Плавкие предохранители. Пакетные выключатели и переключатели. Аппаратура управления. Аппаратура защиты. Электроизмерительные приборы, аппаратура сигнализации и другие устройства. Реле защиты. Выбор аппаратуры электrorаспределительных устройств.

### *Практическое занятие*

Расчет электрических сетей.

## **Тема 8. Генерирование и распределение электроэнергии.**

### *Лекция*

Общие сведения, распределительные устройства: групповые и магистральные. Схема распределения электроэнергии и электрические сети. Расчет электрических сетей. Главные и аварийные электrorаспределительные щиты. Техническое обслуживание электрических станций и сетей.

### *Практическое занятие*

Расчет при помощи практических методов вычисления токов симметричного короткого замыкания.

## **Тема 9. Автоматизированное управление электроэнергетическими системами (ЭЭС) судов.**

### *Лекция*

Общие сведения. Системы автоматического управления приводными двигателями дизель-генераторов. Система автоматической синхронизации и включения синхронных генераторов на параллельную работу. Системы автоматического распределения нагрузок между параллельно работающими синхронными генераторами. Автоматические устройства ЭЭС. Принципы построения автоматизирован-

ных судовых электростанций. Основные положения по построению программ и алгоритмов управления автоматизированными электростанциями.

*Практическое занятие*

Определение периодической составляющей тока КЗ с помощью расчетных кривых.

**Тема 10. Электрические сети (ЭС).**

*Лекция*

Классификация ЭС. Расчет ЭС. Пожаро- и электробезопасность СЭС. Контроль изоляции ЭС. Резервирование и переключение питания. Судовые кабели и провода.

*Практическое занятие*

Определение напряжения и токов синхронного генератора при несимметричной нагрузке.

**Тема 11. Переходные процессы в ЭЭС судов.**

*Лекция*

Общие сведения. Переходные процессы при включении и выключении электрических цепей. Переходные процессы в синхронном генераторе. Короткие замыкания (КЗ) в ЭЭС постоянного тока. КЗ в ЭЭС переменного тока. Определение токов КЗ. Трехфазное КЗ при автоматической стабилизации напряжения СГ. Практические методы расчета токов КЗ, определение отклонения напряжения синхронных генераторов при изменении нагрузки. Построение и использование математических моделей для расчета переходных режимов ЭЭС.

*Практическое занятие*

Расчет шин электрораспределительных устройств.

**Тема 12. Эксплуатация СЭЭС.**

*Лекция*

Общие сведения. Надежность СЭЭС. Контроль работоспособности СЭЭС. Диагностирование судовых систем управления (СУ). Эксплуатационные характеристики СЭЭС с человеком-оператором в контуре управления. Повышение эффективности СЭЭС. Электробезопасность. Ведение технической документации.

*Практическое занятие*

Практический метод вычисления наибольшего значения тока КЗ машин постоянного тока.

## **5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ И ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

### **5.1 Организация проектирования СЭЭС и разработка судовых электрических сетей**

Важнейшими особенностями электроэнергетических систем судов современных проектов являются все возрастающая удельная энергоемкость, большая разветвленность, высокий коэффициент рабочей напряженности, существенная зависимость работоспособности СЭЭС от внешних условий, характеризующихся большим диапазоном изменения различных факторов при достижении ими предельных допустимых значений для судового электрооборудования.

Судовое электрооборудование подвергается воздействию значительных механических нагрузок, вызываемых качкой, вибрацией, ускорениями и т. п. Высокая проводимость корпусных конструкций предъявляет жесткие требования к техническому состоянию изоляции токоведущих частей.

Элементы СЭЭС характеризуются сравнительно высокой уязвимостью при воздействии боевых средств противника. Относительно небольшие величины напряжений при больших мощностях источников электроэнергии и больших сечениях кабельных и шинных токопроводов обуславливают при повреждениях элементов СЭС высокую вероятность больших токов к. з., ведущих к пожарам.

Указанные обстоятельства предъявляют особенно жесткие требования к надежности и живучести элементов СЭЭС и системы в целом.

Несмотря на функциональную самостоятельность СЭЭС как судовой системы, она обладает высоким уровнем первичности по отношению к большинству судовых систем. СЭЭС энергетически связана практически со всеми судовыми системами и комплексами и существенно влияет на эффективность их функционирования. Все это обуславливает повышенные относительно других систем требования к готовности, высокой надежности, бесперебойности генерирования, распределения ЭЭ необходимого количества и качества.

Рассмотренные особенности СЭЭС характеризуют сложность проблемы ее проектирования, выбора элементов, разработки СЭС, обоснования различных проектных решений, процесса проектирования различных судовых систем и судна в целом.

Проектирование СЭЭС включает в себя несколько этапов, связанных с разработкой эскизного, технического и рабочего проектов системы. Тесная взаимосвязь рассмотренных этапов проектирования с соответствующими этапами разработки других судовых систем определяет итеративный характер обоснования и принятия проектных решений.

Тактико-техническое задание (ТТЗ) на разработку эскизного проекта СЭЭС формируется на основе оперативно-тактического задания на разработку судна в целом. Определение назначения судна, состава и количества технических средств, скорости и дальности плавания и т. п. позволяет на ранней стадии проектирования

оценить электрические нагрузки и обосновать структуру электроэнергетической установки судна.

В целом эскизное проектирование СЭЭС предполагает необходимость решения следующих проектных задач:

1. Выбор основных параметров ЭЭ (рода тока, величины частоты и напряжения) и обоснование требований к ее качеству.

2. Оценка электрических нагрузок, выбор числа и мощности источников электроэнергии при заданном уровне включенного резерва мощности для обеспечения надежности, живучести генерирования ЭЭ и достижения максимальной экономичности функционирования генераторных агрегатов.

3. Разработка судовых электрических сетей, обоснование их электрических схем для эффективного решения задач надежного приема ЭЭ от источников, ее распределения и передачи к приемникам в необходимом количестве и заданного качества.

4. Разработка автоматизированной системы контроля, управления, сигнализации и защиты СЭЭС. На стадии эскизного проектирования предполагается обоснование структурно-функциональных схем автоматизации управления и защиты, выбор устройств автоматизации, определение принципов их использования и схемах автоматизации при выбранных способах и методах управления и защиты.

5. Оценка устойчивости системы в нормальных эксплуатационных и аварийных режимах на основе анализа различных переходных процессов и выбора соответствующих уставок регулирования и срабатывания устройств автоматизации и защиты. Проверка эффективности и уточнение характеристик по результатам анализа переходных процессов ранее принятых проектных решений.

Подробная разработка предварительных технических решений осуществляется при решении задач технического проектирования СЭЭС, связанных с окончательным уточнением принципиальных схем СЭС и систем ДАУ СЭЭС, обоснованием технических условий на поставку судового электрооборудования, оценкой возможностей его размещения и монтажа на судне.

Разработка и выпуск рабочих и монтажных чертежей, составление проекта технологии монтажа электрооборудования, окончательная выдача технических условий на поставку всего электрооборудования, выпуск исполнительских спецификаций, расчетов, временных описаний и инструкций по эксплуатации осуществляется на стадии рабочего проектирования.

Анализ содержания основных этапов проектирования СЭЭС показывает, что основополагающим для разработки СЭЭС является решение задач эскизного проектирования, требующее целостного представления о системе, физических процессах ее функционирования, их взаимосвязи, основанных на знании принципов действия, основных характеристик, устройства элементов СЭЭС, умении осуществлять варианты расчетов для принятия рациональных проектных решений.

## **5.2. Основные принципы обоснования проектных решений при разработке СЭЭС**

Принятие проектных решений при разработке СЭЭС регламентируется комплексом руководящих документов по проектированию электроэнергетических систем. Они содержат необходимые для проектирования справочные данные, особенности конструкций и схем электрооборудования, рекомендации по их применению в СЭЭС. Вместе с тем, принятие проектных решений по СЭЭС должно учитывать требования комплекса руководящих документов по эксплуатации судового электрооборудования, поскольку их содержание определяется накопленным опытом эксплуатации для известных проектных решений.

Учет требований этих документов является необходимым условием эффективности принимаемых решений при эскизном проектировании СЭЭС.

Несмотря на существенные различия содержания инженерных задач эскизного проектирования СЭЭС, выделяют следующие основные принципы обоснования и принятия проектных решений:

***1. Принцип учета опыта проектирования и эксплуатации электроэнергетических систем.***

Известно, что эффективность ряда проектных оценок и решений определяется только в процессе эксплуатации. Особенно важно учитывать опыт проектирования и эксплуатации, связанный с оценкой фактических электрических нагрузок на судне, показателей, характеризующих загрузку механизмов судовых систем, эффективность типовых схем автоматизации и т. д.

Реализация такого подхода основывается на применении так называемого метода «прототипа». Однако следует при этом достаточно обоснованно проводить корректуру используемых прототипных решений с учетом конкретных условий и режимов, принимаемых при проектировании.

***2. Принцип выбора и обоснования проектных решений на основе вариантов расчетов с использованием различных показателей эффективности анализируемых решений***

К числу таких показателей можно отнести удельные показатели электровооруженности, электрооснащенности, разветвленности и т. п. Удельная электрооснащенность характеризуется отношением суммарной установленной мощности ПЭ к водоизмещению судна, а удельная электровооруженность – отношение суммарной установленной мощности источников ЭЭ к водоизмещению судна в соответствующих единицах измерения. Применение таких показателей позволяет оценивать эффективность принимаемых проектных решений.

При проектировании СЭЭС необходимо учитывать и увязывать все характеристики и свойства системы с условиями размещения и совместного функционирования с другими судовыми системами. Недооценка этого фактора приводит к серьезным проектным просчетам.

Определение количественных требований к проектируемой СЭЭС на основе анализа содержания руководящих документов по эксплуатации и проектированию судового электрооборудования. Например, выполнение общего требования к обеспечению необходимого уровня живучести СЭЭС должно обосновываться за-

данным числом энергорайонов, конкретным значением включенного резерва мощности источников электроэнергии, принятым принципом распределения электроэнергии и т. д.

Важным условием эффективности принимаемых проектных решений является реализация принципов унификации и стандартизации при выборе структуры и состава различных схем, устройств, аппаратуры. Рассмотренные принципы принятия проектных решений при разработке СЭЭС имеют общий характер и должны анализироваться с точки зрения определения их конкретного содержания при решении всех задач эскизного проектирования.

Таким образом, выбор основных параметров, определение состава критериев для оценки качества электроэнергии обеспечивает наличие необходимых исходных данных не только для оценки электрических нагрузок, но и для принятия решений при проектировании системы ДАУ СЭЭС, судовых электрических сетей.

### **5.3 Основные методы расчета электрических нагрузок при проектировании СЭЭС**

Процесс изменения электрических нагрузок, создаваемых ПЭ, является случайным процессом, подчиняющимся закономерностям теории вероятностей.

В инженерной практике при расчете нагрузок применяют два основных метода: детерминированный и вероятностный.

Предпочтение отдают более простому, универсальному и наглядному детерминированному методу, при котором электрические нагрузки определяются только для наиболее характерных режимов использования судна. Расчет выполняют табличным способом и оформляют в виде таблицы нагрузок.

При расчете мощности судовой электростанции важно правильно определить мощность и число генераторных агрегатов, которые должны обеспечивать во всех режимах работы судна бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией надлежащего качества с учётом максимально допустимой загрузки генераторных агрегатов. При этом следует иметь в виду, что мощность, потребляемая судовыми механизмами и устройствами, не является постоянной, а изменяется в зависимости от режима работы судна.

Характерными режимами промышленного судна являются:

- стояночный режим;
- стоянка в порту без охлаждения трюма;
- стоянка в порту с охлаждением трюма и кондиционированием;
- ходовой режим;
- промысловый (производственный) режим;
- аварийный режим при работе основной электростанции;
- аварийный режим при работе аварийных генераторов.

Так, в ходовом режиме работают потребители, обеспечивающие главную энергетическую установку и удовлетворяющие бытовые нужды экипажа, а также

радиостанции, навигационные приборы и т. д. В режиме маневрирования работают все потребители ходового режима. Этот режим является кратковременным и, как правило, не рассматривается при определении мощности электростанции. В этом режиме для обеспечения безопасного плавания включают дополнительный генератор, который обеспечивает необходимый запас мощности ЭС. В аварийном режиме с работой основной ЭС учитывают увеличение потребления электроэнергии (например, при увеличении корпуса, пожарах и т. д.) В режиме стоянки судна работают приемники, удовлетворяющие нужды экипажа, обеспечивающие работу приводных двигателей генераторов и т. д. Если в режиме стоянки выполняются грузовые операции, то дополнительно получают питания грузовые лебедки или краны. В общем случае мощность судовой электростанции зависит от мощности энергетической установки, водоизмещения, района плавания и комфорта, т. е. наличия систем кондиционирования воздуха, бытовой вентиляции, камбузных устройств и т. п.

Выбор числа и мощности ГА представляет собой весьма сложную задачу, так как требует учёта многих факторов технического, экономического и эксплуатационного характера, часто противоречащих друг другу. Это заставляет принимать компромиссные решения, обеспечивающие наивыгоднейший режим работы судовой электростанции. При выборе числа и мощности генераторов исходят из расчётной мощности нагрузки на электростанции, полученной при помощи нагрузочных таблиц или каким-либо другим методом, с учётом следующих соображений: генераторы должны иметь загрузку во всех режимах, близкую номинальной (желательно не менее 75-80% номинальной мощности); принятые к установке генераторы должны быть по возможности однотипными. В этом случае обеспечивается лучшая взаимозаменяемость и облегчается их обслуживание;

Рассмотрим методы определения судовой мощности электростанции:

**Табличный метод.** Этот метод, получивший наибольшее распространение при проектировании ЭСС, основан на определении электростанции, по специальным расчётным таблицам нагрузок, составленных для наиболее важных режимов работы судна. Такие таблицы имеют примерно одинаковые для всех типов судов формы и отличаются лишь рассматриваемыми режимами, которые зависят от назначения судна. Некоторые изменения в форму и содержание таблицы нагрузок вносит также род тока генераторных агрегатов. Первым шагом на пути определения мощности СЭЭС табличным методом является выбор электродвигателей для судовых механизмов по известным мощностям.

Условия выбора электродвигателей:

- по роду тока;
- по величине напряжения ( $U_{н\text{ дв}} = U_{сети}$ );
- по мощности ( $P_{мех} < P_{н\text{ дв}}$ );
- по режиму работы (ПВ);
- по уровню вибрации и шума;

- по конструктивно-монтажному исполнению, степени защиты и способу охлаждения;
- по частоте вращения;
- по способу сочетания с валом механизма.

Составление и расчёт таблицы производим для трех режимов работы судна:

- промысловый режим;
- стояночный режим;
- ходовой режим;

Типовая форма для расчёта нагрузки ЭСС переменного тока для одного режима показана в табл.1. В графе 1 указывают все потребители электроэнергии, установленные на судне. Отдельные потребители соединяют в группы. Обычно при составлении таблицы нагрузок для промысловых судов учитывают следующие группы приемников потребителей электроэнергии: механизмы машинного отделения, промысловые и общесудовые устройства, вентиляционное оборудование, холодильное оборудование, технологическое оборудование, бытовые потребители, радиосвязь, управление, навигация, освещение.

Графа 2 определяет количество однородных потребителей, а в графу 3 заносят установленную мощность механизма. В графах 4, 5 и 6 приводят номинальные значения мощности, КПД и коэффициента мощности потребителей электроэнергии. При выборе электродвигателя для привода того или иного механизма не всегда удается подобрать такой двигатель, номинальная мощность  $P_{д.ном}$  которая равнялась бы мощности  $P_{мех}$ . В этом случае применяют двигатель несколько большей мощности с коэффициентом использования  $k_1 = \frac{P_{мех}}{P_{д.ном}}$  полученное значение записывают в графу 7. В графе 8 приводят суммарную установленную активную мощность потребителей (в кВт), определяемую по формуле:

$$P = \frac{P_{д.ном}}{\eta_{ном}} n \quad (1)$$

где  $\eta$  – номинальный КПД двигателя;

$n$  – количество одноименных потребителей одинаковой мощности.

По известным активной мощности и коэффициенту мощности определяют значение реактивной мощности (в кВт) и заносят в графу 9.  $Q = Ptg\varphi_{ном}$ . Полную потребляемую мощность (в кВ·А) (графа 10) находят по формуле:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2)$$

Далее выполняют расчёты по определению потребляемых мощностей в различных режимах. При этом в каждом эксплуатационном режиме приемники электрической энергии могут работать эпизодически, периодически и непрерывно. К эпизодически работающим приёмникам относятся однократно или многократно подключаемые приемники, суммарное время работы которых менее 15% продолжительности рассматриваемого режима (не превышает 3,5 ч в сутки). Периодически работающими являются многократно подключаемые приемники, суммарное время работы которых находится в пределах 15–70% продолжительности режима

(3,5–17 ч в сутки). Непрерывно работающими являются многократно или однократно подключаемые приемники, время работы которых находится в пределах 70–100 % общей продолжительности режима (17–24 ч в сутки). Установленные на судне потребители электрической энергии во многих случаях не полностью используются по мощности. По этому при расчёте действительной потребляемой мощности необходимо учитывать коэффициент загрузки механизма  $k_2$  (графа 11), который определяется отношением действительной потребляемой мощности  $P_{п.мех}$  в данном режиме к номинальной мощности механизма  $P_{мех.ном}$ , выражается формулой:

$$k_2 = \frac{P_{п.мех}}{P_{мех.ном}} \quad (3)$$

Тогда коэффициент загрузки  $k_3 = k_1 \cdot k_2 = 0,7 \cdot 0,5 = 0,35$ ; (графа 12) будет характеризовать фактическую загрузку электродвигателя в режиме. В графы 13 и 14 записывают КПД потребителя и коэффициент мощности, соответствующий данному режиму. Имея в виду, что не все потребители работают одновременно в том или ином режиме, в таблицу нагрузок вводят коэффициент одновременности  $k_0$  (графа 15). Применительно к группе отдельных потребителей этот коэффициент определяется отношением числа работающих в данном режиме потребителей  $n_{раб}$  к общему числу установленных  $n_{уст}$ :  $k_0 = n_{раб}/n_{уст}$ . Затем находят потребляемые мощности, соответствующие рассматриваемым режимам работы судна (графы 16 и 17):

активную потребляемую мощность однородных потребителей (в кВт) по формуле:

$$P_{п} = \frac{P_{н}n}{\eta} k_3 k_0 \quad (4)$$

реактивную потребляемую мощность (в кВАР) по формуле:

$$Q_{п} = P_{п} tg\varphi \quad (5)$$

где  $\eta$  – КПД потребителя в соответствующем режиме;

$tg\varphi$  – коэффициент, определяемый по  $\cos\varphi$  в заданном режиме.

Значение КПД электродвигателей сравнительно мало изменяется в пределах нагрузки от 50 до 100%, которая является наиболее вероятной для судовых потребителей. Это позволяет при составлении таблицы нагрузок считать КПД электродвигателей постоянными. Значение же коэффициента мощности электродвигателей в значительной степени зависит от нагрузки, поэтому при определении потребляемой мощности необходимо вводить соответствующие поправки на изменение коэффициента мощности. Значение коэффициентов использования установленных электродвигателей, загрузки механизмов, одновременности, мощности ( $\cos\varphi$ ), и КПД электродвигателей принимают на основании расчётов по техническому и рабочему проектам данного судна и судна прототипа, а также по данным эксплуатации аналогичных потребителей на других судах. Заметим, что эпизодически работающих потребителей, как правило, не учитывают при определении мощности электростанции. Такую нагрузку принимают во внимание лишь при

проверке перегрузочной способности генератора или в случае необходимости кратковременного включения генератора. Потребителей, которые в рассматриваемом режиме не работают, в соответствующих графах данного режима не учитывают. После заполнения таблицы в большинстве случаев определяют суммарную потребляемую мощность – активную и реактивную, без учета эпизодически работающих потребителей. Для этого выбирают общий коэффициент одновременности работы потребителей для каждого режима. Тем самым учитывают несовпадение максимумов нагрузок потребителей во времени. Значение коэффициентов одновременности  $k_0$  определяются в зависимости от соотношения мощностей непрерывно  $P_{н.р}$  и периодически  $P_{п.р}$  работающих приемников. Так, при  $P_{н.р} > P_{п.р}$   $k_0 = 1 \div 0,8$ ; при  $P_{н.р} \approx P_{п.р}$   $k_0 = 0,8 \div 0,7$ ; при  $P_{н.р} < P_{п.р}$   $k_0 = 0,7 \div 0,6$ .

Кроме того, учитывают с помощью коэффициента  $k_c$  потери в сети. Его обычно принимают равным 1,05. Тогда суммарные активная и реактивная мощности непрерывно и периодически работающих приемников по отдельным режимам будут определяться выражениями:

$$P_{н.р\Sigma} = k_{о.н} k_c \sum_{i=1}^m P_{н.рi} \quad (6)$$

$$Q_{н.р\Sigma} = k_{о.н} k_c \sum_{i=1}^m Q_{н.рi} \quad (7)$$

$$P_{п.р\Sigma} = k_{о.п} k_c \sum_{i=1}^n P_{п.рi} \quad (8)$$

$$Q_{п.р\Sigma} = k_{о.п} k_c \sum_{i=1}^n Q_{п.рi} \quad (9)$$

где  $P_{н.р\Sigma}$ ,  $Q_{н.р\Sigma}$ ,  $P_{п.р\Sigma}$ ,  $Q_{п.р\Sigma}$  – соответственно суммарная активная и реактивная мощности непрерывно и периодически работающих приемников с учетом коэффициента одновременности и потерь в судовой сети;

$k_{о.н}$ ,  $k_{о.п}$  – соответственно коэффициенты одновременности непрерывно и периодически работающих приемников в определенных режимах;  $k_c$  – коэффициент потерь в судовой сети;

$m$ ,  $n$  – число непрерывно и периодически работающих приемников.

В расчётах нагрузки судовых ЭС учитывают мощность периодически работающих приемников, активную и реактивную мощности которых суммируют с соответствующими мощностями непрерывно и периодически работающих приемников. Активную и реактивную мощности ЭС в отдельных режимах находят из следующих соотношений:

$$P_{р\Sigma} = P_{н.р\Sigma} + P_{п.р\Sigma} \quad (10)$$

$$Q_{р\Sigma} = Q_{н.р\Sigma} + Q_{п.р\Sigma} \quad (11)$$

При учете максимальной мощности приемников с эпизодической нагрузкой будут справедливы следующие соотношения:

$$P'_{р\Sigma} = P_{р\Sigma} + k_c P_{\text{э}} \quad (12)$$

$$Q'_{p\Sigma} = Q_{p\Sigma} + k_c Q_\varepsilon \quad (13)$$

Полную мощность находят из выражения

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} \quad (14)$$

Средневзвешенный коэффициент мощности в каждом режиме определяется как отношение активной мощности к полной для данного режима по формуле

$$\cos \varphi_{cp} = P_{p\Sigma} / S_{p\Sigma} \quad (15)$$

Если при этом  $\cos \varphi_{cp}$  оказывается равным номинальному коэффициенту мощности генератора (который полагают равным 0,8) или превышающим его, то выбор генератора производят по активной мощности. В противном случае, при выборе генераторов исходят из полной мощности нагрузки. Получив значение мощности, необходимой для удовлетворения потребителей во всех режимах работы судна, определяют мощность судовой ЭС. Типовая таблица нагрузки ЭС постоянного тока приведена в таблице 1.

Таблица 1

Типовая таблица нагрузки ЭС постоянного тока

1	2	Номинальные данные потребителей					Данные потребителей в режиме работы судна										
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	Качество однородных потребителей	Мощность механизма на валу, кВт	Мощность потребителя, кВт	КПД потребителя $\eta$ ном	Коэффициент мощности потребителя $\cos \varphi$	Коэффициент использования $k_1$	Активная P, кВт	Реактивная Q, кВт	Полная S, кВ·А	Суммарная установленная мощность потребителей	Коэффициент загрузки механизма $k_2$	Коэф. загрузки потреб. $k_3 = k_1 k_2$	КПД потребителя	Коэффициент мощности	Коэффициент одновременности $k_0$	Активная $P_p$ , кВт	Реактивная $Q_p$ , кВт

Группы потребителей  
 Итого активная и реактивная нагрузки в режимах  
 Непрерывном  $P_{н.р\Sigma}$  ,  $Q_{н.р\Sigma}$   
 Периодическом  $P_{п.р\Sigma}$  ,  $Q_{п.р\Sigma}$   
 С учётом коэффициента одновременности  
 Непрерывная  $P_{н.р\Sigma}$  ,  $Q_{н.р\Sigma}$   
 Периодическая  $P_{п.р\Sigma}$  ,  $Q_{п.р\Sigma}$   
 Суммарная нагрузка с учётом коэффициента одновременности режима, потерь в сети  
 Полная мощность  $S_{p\Sigma}$  .

**Аналитический метод определения мощности СЭС.** Аналитический метод определения мощности ЭС основан на предположении о существовании зависимости мощности станции от мощности главных двигателей. В результате анализа статистических данных были получены эмпирические выражения, связывающие мощность ЭС в ходовом режиме с мощностью главных двигателей энергетической установки. Основное соотношение для определения средней мощности  $P_x$  (в кВт) в ходовом режиме имеет вид :

$$P_x = 18 + 0,028N, \quad (16)$$

где  $N$  – мощность главных двигателей судна, кВт.

Это выражение справедливо только для дизельной энергетической установки малой частоты вращения с электрифицированными масляными охлаждающими насосами, а также насосами забортной пресной воды. При этом не учитываются мощности эпизодически работающих приемников. Расчётная мощность ЭС с учётом эпизодической нагрузки составляет

$$P_{x1} = P_x + P_э \quad (17)$$

где,  $P_э$  наибольшая мощность приемника, включаемого эпизодически, кВт.

При расчёте мощности ЭС (когда мощность таких приемников меньше мощности бытовых потребителей электроэнергии) необходимо учитывать расчётную мощность последних. В связи с этим

$$P_x = 18 + 0,028N + P_э \text{ при } P_э > P_б; \quad (18)$$

$$P_x = 18 + 0,028N + P_б \text{ при } P_б > P_э, \quad (19)$$

где,  $P_б$  – мощность бытовых приемников,  $P_б = P_к + P_в + P_{к.в}$ ;

$P_к = \sum_{i=1}^n P_{ki}$  – расчётная мощность камбузов;

$P_в = k_в \sum_{i=1}^m P_{vi}$  – расчётная мощность бытовых вентиляторов;

$P_{к.в} = k_{к.в} \sum_{i=1}^l P_{k.vi}$  – расчётная мощность системы кондиционирования воздуха.

Коэффициент  $k_в$  находится в зависимости от суммы установленных мощностей бытовых вентиляторов.

Например, при  $\sum P_{vi}$ , равной 25, 50 и 100 кВт, коэффициенты  $k_в$  соответственно равны 0,75, 0,45, 0,47. Коэффициент  $k_{к.в}$  принимается равным 0,7. Резуль-

таты расчётов рекомендуется проверять по следующим формулам, учитывающим электровооруженность судов:

$$P_{x1} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_3 \text{ при } P_3 > P_6; \quad (20)$$

$$P_{x2} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_6 \text{ при } P_6 > P_3, \quad (21)$$

где,  $P_1, P_2, P_3, P_4$  – расчётные мощности соответственно вспомогательных механизмов, обслуживающих энергетическую установку, электронavigационного оборудования, светильников, периодически включаемых приемников:

$$P_1 = \kappa_1 \sum_{i=1}^n P_{i1} = 0,8 \sum_{i=1}^n P_{i1}; \quad (22)$$

$$P_2 = \kappa_2 \sum_{i=1}^m P_{i2} = 0,6 \sum_{i=1}^m P_{i2}; \quad (23)$$

$$P_3 = \frac{1,3}{\eta} \left( 8 + 0,56 \frac{D}{1000} \right), \quad (24)$$

где  $\eta$  – КПД трансформатора или преобразователя, если они установлены;  
 $D$  – водоизмещение судна, т.

$$P_4 = \kappa_4 \sum_{i=1}^l P_{i4} = 0,3 \sum_{i=1}^l P_{i4}. \quad (25)$$

Эти выражения используют для определения мощности ЭС различных судов при наличии установленных расчётами и опытом эксплуатации коэффициентов спроса для групп и отдельных потребителей электроэнергии.

Среднюю расчётную мощность для режима стоянки без грузовых операций определяют по выражению  $P_{ст} = 11 + 0,002D$ .

В эту мощность не входят мощности эпизодически включаемых приемников, систем кондиционирования воздуха, специальных вентиляторов, электрифицированного оборудования камбуза. Потребляемые мощности указанных приемников в режиме стоянки определяют так же, как и в ходовом режиме. Расчётная мощность ЭС с учётом нагрузок эпизодической и бытовых приемников составляет:

$$P_{ст} = 11 + 0,002D + P_3 \text{ при } P_3 > P_6; \quad (26)$$

$$P_{ст} = 11 + 0,002D + P_6 \text{ при } P_6 > P_3. \quad (27)$$

Результаты расчётов по выражениям (6) и (7) проверяются по следующим соотношениям

$$P_{ст1} = P_3 + P_4 + P_3; P_3 > P_6; P_{ст2} = P_3 + P_4 + P_6; P_6 > P_3. \quad (28)$$

Мощности  $P_3$  и  $P_4$  находятся из выражений:

$$P_3 = \frac{1,6}{\eta} \left( 8 + 0,56 \frac{D}{1000} \right); \quad (29)$$

$$P_4 = 0,3 \sum_{i=1}^l P_{i4}. \quad (30)$$

Мощность ЭС в режиме стоянки с грузовыми операциями определяется с учётом мощности  $P_{г.л.}$ , потребляемой грузовыми лебедками.

Тогда

$$P_{ст.г} = P_{ст} + P_{г.л.}; \quad (31)$$

$$P_{г.л.} = \left( 0,53 + \frac{1,05}{n} \right) \sum_{i=1}^n 0,15 G_n V_n, \quad (32)$$

где  $n$  – число лебедок;

$G_n$  – номинальная грузоподъемность лебедок, т;

$V_n$  – номинальная скорость подъема полного груза, м/мин.

Что касается режима маневрирования, то ввиду его кратковременности нет необходимости производить учёт мощности этого режима. В тех же случаях, когда расчёт мощности необходимо выполнить и для этого режима, можно воспользоваться следующим выражением:

$$P_m = P_x + 0,8 (P_{бр} + P_{к.п}), \quad (33)$$

где  $P_{бр}, P_{к.п}$  – мощности брашпиля и компрессора пускового воздуха.

В аварийном режиме судовая электростанция обеспечивает ход судна и интенсивную работу водоотливных средств и средств тушения пожара. Дополнительная потребность в электроэнергии в этом режиме может быть покрыта за счёт имеющейся резервной мощности генераторов, а также временным отключением второстепенных потребителей. В некоторых случаях определяют расчётные выражения максимальных мощностей ходового режима в летних и зимних условиях. Эти мощности определяют некоторую максимальную мощность ЭС, которая требуется на судне при одновременной работе с полной мощностью систем кондиционирования воздуха, вентиляции, камбуза, пожарного насоса и др. Такой режим является сравнительно кратковременным, и принятие его за основной расчётный режим приведет к неоправданному завышению мощности ЭС. Поэтому эти мощности следует рассматривать лишь как контрольные, которые дают представление о возможных максимальных значениях мощности при эскизном проектировании или при предварительном выборе электростанции судов перспективной постройки.

**Вероятностный метод определения мощности электростанции.** Применение вероятностных методов позволяет определить вероятностные характеристики суммарной потребляемой мощности, такие, как ее математическое ожидание и дисперсия, а также суммарную мощность ЭС, необходимую для обеспечения всех потребителей с заданной электроэнергией с заданной вероятностью. Наиболее полно эта задача может быть решена методом статистических испытаний, который был разработан давно, но широкое практическое применение нашел только с появлением вычислительных машин. Последнее обстоятельство объясняется необходимостью выполнения сравнительно большого числа расчётов. Метод статистических испытаний позволяет получить искомые результаты не в виде аналитических выражений, а в виде их числовых значений. Для этого составляют вероятностную модель задачи, которая многократно реализуется случайным образом.

Далее производят обработку результатов эксперимента и определяют статистические значения требуемых вероятностных характеристик, которые при достаточно большом числе реализаций сравнительно мало отличаются от истинных значений этих характеристик. Пользуясь этим методом, можно, не вводя каких-либо существенных допущений, определить с помощью ЭВМ мощность ЭС. При этом, однако, следует помнить, что статистическое моделирование достаточно сложных судовых электроэнергетических систем требует больших затрат машинного времени. Кроме того, при значениях вероятности, близких к единице, сходи-

мость расчётов существенно ухудшается, что так же ведет к увеличению необходимого числа испытаний. В то же время именно эти значения вероятности представляют наибольший практический интерес. Поэтому наряду с методом статистических испытаний целесообразно использовать способы определения мощности ЭС, основанные на методах числовых характеристик и массового обслуживания. Последний рекомендуется применять в тех случаях, когда число потребителей сравнительно невелико, а их нагрузка в основном меняется ступенчато. Метод числовых характеристик используется при большом числе потребителей, причем на характер нагрузки не накладывается никаких ограничений.

Выбор состава и мощности генераторных агрегатов СЭЭС представляет собой достаточно сложную системотехническую задачу, варианты решения которой формируются на основе:

исходных данных о разработанных промышленностью и применяемых на флоте типах, мощности генераторных агрегатов;

необходимости наличия включаемого резерва мощности в СЭЭС для обеспечения надежности и живучести генерирования электроэнергии;

достижения загрузки генераторов в расчетных режимах не менее 50% для экономичности работы генераторных агрегатов, сбережения их ресурсов.

Анализ назначения судна, типа и структуры его главной энергетической установки, технических средств, общесудовых систем и т. п. позволяет выявить энергорайоны, в которых формируются электрические нагрузки различных групп приемников электроэнергии.

Выбор единичной мощности генераторных агрегатов осуществляется по активной мощности, если расчетное значение  $\cos\varphi$  в режиме  $>0,8$ . В противном случае генераторные агрегаты следует выбирать по полной мощности.

Для обеспечения живучести и надежности СЭЭС при выборе генераторных агрегатов одного типа стремятся, чтобы они по мощности были одинаковыми для взаимозаменяемости, упрощения схем автоматического управления. Если генераторные агрегаты разнотипны, то целесообразно в составе электростанции иметь примерное равенство мощности генераторных агрегатов разных типов.

#### 5.4 Задания по подготовке и выполнению практических работ

В таблице 2 приведены исходные данные необходимые для выполнения практических заданий.

Таблица 2

Исходные данные и варианты заданий

Наименование потребителей электрической энергии	Варианты заданий																			
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
Рулевой привод	2	35	2	8	2	11	2	17	2	6	2	8	2	19	2	17	2	55	2	60
Якорно-швартовые устройства:																				
брашпиль	1	28	1	12	1	20	1	30	1	15	1	18	1	36	1	50	1	55	1	70

шпиль кормовой швартовый	2	15	2	11	2	22	2	28	2	11	1	15	2	22	2	15	2	28	2	30
шпиль якорно-швартовый							1	30							1	25			1	62
шпиль бортовой швартовый							2	18							2	22	2	15	2	36
Краны грузовые			1	28			1	30			1	36								
Лебедки:																				
грузовые	4	32	2	30	2	30	6	36	2	28	2	32	4	36	6	32	4	36	8	50
траловые (варные, кошельковые, ярусные)	2	13 2			1	12 5			1	13 5	1	13 5	2	17 0			2	21 0		
шлюпочные	2	17	2	13 5	2	10	2	22 5	2	15	2	17	2	25	2	25	2	45	4	50
Лифты:																				
грузовые															2	28			2	45
камбузные	1	5					1	7					1	5	1	7	1	7	1	10
Механизмы, обеспечивающие работу главного двигателя:																				
насосы заборной воды	2	14	2	11	2	22	2	30	2	14	2	18, 5	2	15	2	22	4	30	2	55
насосы пресной воды для охлаждения цилиндров	2	18	2	14	2	30	2	37	2	18	2	22	2	18	2	30	4	37	2	75
насосы пресной воды для охлаждения поршней														2	15	4	18	2	37	

Продолжение табл. 2

насосы для охлаждения форсунок	2	2,2					2	3					2	2,2	2	11	4	3	2	18
насосы масляные	2	22	2	15	2	14	2	37	2	14	2	18, 5	2	25	2	30	4	37	2	75
насосы топливные	2	5,5	2	3	2	4	2	7,5	2	4	2	5,5	2	7,5	2	7,5	4	3	2	11
компрессоры пускового воздуха	2	19, 5	2	15	2	18, 5	2	22	2	15	2	18, 5	2	22	3	19, 5	3	22	3	30
сепараторы топлива	2	3	2	2,2	2	3	2	5,5	2	3	2	4	2	5,5	2	7,5	3	5,5	2	11
сепараторы масла	2	4	2	3	2	4	2	7,5	2	4	2	5,5	2	7,5	2	11	3	7,5	2	15
Механизмы вспомогательных котлов:																				
насосы питательной воды	3	11	2	7,5	2	7,5	2	11	2	3	2	4	3	11	3	18, 5	2	15	3	22
насосы топливные	3	2,2	2	1,5	2	1,1	2	2,2	2	3	2	4	3	5,5	3	7,5	2	5,5	3	11
насосы циркуляционные	2	1,5			2	1,5	2	1,5	2	2,2	2	2,2	2	3	2	4	2	1,5	2	7,5
вентиляторы котла	2	4,5	1	3	1	4	1	4	1	3	1	3	2	4,5	2	5	1	5,5	2	11
Испарительная установка:																				
насосы конденсаторные	2	3			2	2,2	1	1,5	1	1,7	1	1,7	2	3	2	4	1	3	2	5,5

<i>насосы ижекторные</i>			1	3			1	7,5	1	5,5					1	5,5			2	7,5
<i>насосы вакуум- ные</i>	2	2,2			1	1,5					1	1,5	2	2,2	2	3	2	3	2	4,5
Насосы пожар- ные:																				
<i>основные</i>	2	25	2	14	2	15	2	25	2	11	2	15	2	25	2	30	2	55	2	75
<i>аварийные</i>	1	8	1	5,5	1	5,5	1	8	1	7,5	1	5,5	1	8	1	11	1	18, 5	1	22
Насосы бал- ластно- осушительные																				
Насосы быто- вых систем:																				
<i>насосы сани- тарные прес- ной воды</i>	2	3,2	2	1,5	2	2,2	2	4	2	2,2	2	3	2	3,2	2	4	2	5,5	2	7,5
<i>насосы сани- тарные забор- ной воды</i>	2	3,2	2	1,5	2	2,2	2	4	2	2,2	2	3	2	3,2	2	4	2	5,5	2	7,5
<i>насосы горячей воды</i>	1	1,1	1	0,7	1	1,1	1	2,2	1	1,5	1	2,2	1	1,7	1	2,2	1	3,2	2	5,5
<i>Насосы топ- ливо- перекачиваю- щие</i>	2	5,5	1	3	2	2,2	1	3	2	1,7	2	2,2	2	5,5	2	6	2	7,5	2	11
Вентиляторы:																				
<i>машинно- котельного отделения</i>		81		55		72		86		48		55		88		95		11 1		13 2
<i>Общесудовые</i>		53		35		47		50		37		47		55		62		92		11 7

Окончание табл. 2

Рефрижераторы провизионных камер:																				
<i>насосы охла- ждения прови- зионной уста- новки</i>	1	2,2	1	1,5	1	1,5	1	2,2	1	1,7	1	1,7	1	1,7	1	2,2	1	3,2	1	5,5
<i>компрессоры провизионной установки</i>	1	6	1	4,5	1	4,5	1	6	1	5,5	1	5,5	1	6	1	7,5	1	7,5	1	11
Рефрижераторы трюмов:																				
<i>компрессоры</i>	4	75	2	55	2	55	1	37	2	55	2	55	4	75	4	75	4	13 2	6	13 2
<i>насосы охла- ждения</i>	4	14	2	8	2	7,5	1	11	2	7,5	2	7,5	4	14	4	14	4	30	4	30
<i>вентиляторы</i>	28	2,2	8	1,5									28	2,2	32	2,2	70	0,9	32	2,2
Системы кон- диционирова- ния воздуха:																				
<i>компрессоры</i>	1	75	1	35	1	35	1	55	1	35	1	45	1	75	1	75	1	11 0	1	13 2
<i>насосы рас- сольные</i>	1	11	1	7,5	1	7,5	1	11	1	7,5	1	7,5	1	11	1	11	1	14	1	18, 5
<i>насосы охла- ждения</i>	1	3,2	1	2,2	1	2,2	1	3	1	2,2	1	2,2	1	3,2	1	3,2 1	1	4	1	5,5
<i>вентиляторы</i>	3	3	2	1,7	2	1,7	2	3	3	1,7	3	1,7	4	3	5	3	5	3,2	7	3,2
Нагреватель-		55		23		27		32		23		32		55		80		47		11

ные устройства																			0	
Камбуз (нагр. приборы, эл.дв.)		81		36		46		62		44		46		81		94		99	117	
Освещение		80		32		38		41		38		40		80		100		95	114	
Прожекторы	13	1,5	8	1	10	1,5	12	1	10	1,5	8	1,5	13	1,5	13	1	15	1,5	15	1
Радиооборудование		12		6,8		7,1		5,8		9		9		12		16		16	19	
Электронавигационные приборы		7,9		4,5		5,2		4,5		5,2		5,2		7,9		8,3		10,5	13,4	
Валоповоротные устройства	1	4	1	2,2	1	3,2	1	4,5	1	3,2	1	3,2	1	4	1	4,5	2	4,5	1	7,5
Электроприводы мехмастерской		55		21		21		39		21		21		55		102		67	227	
Технологическое оборудование																				
механизмы рыбомучной установки (РМУ)		67												67		323		82	410	
механизмы рыбообработывающих цехов		58				32				43		41		58		90		80	260	
Подруливающее устройство	1	70	1	55	1	55				1	68									
Прочая нагрузка		40		25		30		15		25		20		40		45		60	90	

В таблице 3 указано функциональное назначение судов для каждого варианта задания. Вариант задания выбирается по последней цифре номера зачётной книжки.

Таблица 3

**Функциональное назначение судов**

Номер варианта задания	Тип судна
1	Малый филетировочный траулер (МФТ, «старкодер»)
2	Малый транспортный рефрижератор (МТР)
3	Сейнер-траулер (СТ)
4	Универсальный сухогруз
5	Средний рыболовный траулер морозильщик (СРТМ)
6	Сейнер-ярусолов (ЯМС)
7	Рыболовный траулер морозильщик (РТМ)
8	Производственный рефрижератор
9	Большой автономный траулер морозильщик (БАТМ)
10	Плавбаза В69

*Практическая работа 1*

## **Расчет мощности судовой электростанции вероятностно-статистическими методами.**

*Задание на практическую работу:*

Произвести расчёт мощности с выбором количества и мощности устанавливаемых генераторов вероятностно-статистическим методом. Перечень установленного электрооборудования с указанием их мощности взять из таблицы 2. Параметры электродвигателей  $\cos\varphi_n$  и  $\eta_n$  взять из справочных параметров электродвигателей мощностью равной или близкой мощности, указанной в таблице.

*Практическая работа 2*

### **Расчет мощности СЭС эмпирическим методом нагрузочных таблиц.**

*Задание на практическую работу:*

Произвести расчёт мощности с выбором количества и мощности устанавливаемых генераторов методом нагрузочных таблиц. Перечень установленного электрооборудования с указанием их мощности взять из таблицы 2. Таблицу нагрузок составить по форме, указанной в таблице 1 для трёх режимов: съёмка с якоря; выбрать самый нагруженный режим согласно назначению судна; стоянка с грузовыми операциями.

*Практическая работа 3*

### **Расчет мощности СЭС методом аналитического определения параметров распределения нагрузки.**

*Задание на практическую работу:*

Произвести расчёт мощности с выбором количества и мощности устанавливаемых генераторов вероятностно-статистическим методом. Перечень установленного электрооборудования с указанием их мощности взять из таблицы 2. Параметры электродвигателей  $\cos\varphi_n$  и  $\eta_n$  взять из справочных параметров электродвигателей мощностью равной или близкой мощности, указанной в таблице.

*Практическая работа 4*

### **Расчет мощности СЭС методом статистического моделирования с применением вычислительных машин.**

Произвести расчёт мощности с выбором количества и мощности устанавливаемых генераторов методом статистического моделирования. Перечень установленного электрооборудования с указанием их мощности взять из таблицы 2. Параметры электродвигателей  $\cos\varphi_n$  и  $\eta_n$  взять из справочных параметров электродвигателей мощностью равной или близкой мощности, указанной в таблице.

*Практическая работа 5*

### **Расчет устойчивости параллельной работы генератора с мощной системой.**

По расчетным данным практических работ № 1 - № 5 и параметрам выбранных генераторов произвести расчет устойчивости параллельной работы генератора с береговой сетью в режиме приема или передачи нагрузки. Исходные данные сети принять стандартными, условно считая мощность береговой сети неограниченной.

#### *Практическая работа 6*

**Расчет изменения напряжения в установках постоянного и переменного тока.**

Произвести расчёт изменения напряжения на шинах ГРЩ при пуске самого мощного электродвигателя. Сначала произвести расчёт при работе одного генератора. Если провал напряжения превысит допустимую норму, рассчитать сколько генераторов необходимо включить на параллельную работу, чтобы обеспечить допустимый провал напряжения. Исходными данными для расчета принять результаты практических работ № 1 - № 5.

#### *Практическая работа 7*

**Расчет изменения напряжения и частоты синхронного генератора с использованием вычислительных машин.**

Произвести расчёт изменения напряжения на шинах ГРЩ при пуске самого мощного электродвигателя, моделируя процесс пуска в системе. Сначала произвести расчёт при работе одного генератора. Если провал напряжения превысит допустимую норму, рассчитать сколько генераторов необходимо включить на параллельную работу, чтобы обеспечить допустимый провал напряжения. Исходными данными для расчета принять результаты практических работ № 1 - № 5.

#### *Практическая работа 8*

**Расчет устойчивости СЭЭС.**

По расчетным данным практических работ №1 - №5 и параметрам выбранных генераторов произвести расчет устойчивости параллельной работы судовых генератора. Рассчитать устойчивость параллельной работы при пуске мощного потребителя (исходные данные потребителя в таблице 2) и при коротком замыкании в сети. Исходные данные сети принять стандартными.

#### *Практическая работа 9*

**Расчет электрических сетей.**

Произвести расчёт электрических сетей. Перечень установленного электрооборудования с указанием их мощности взять из таблицы 2. Параметры электродвигателей  $\cos\varphi_n$  и  $\eta_n$  взять из справочных параметров электродвигателей мощностью равной или близкой мощности, указанной в таблице. Используя справочные таблицы произвести выбор типа генераторных автоматических выключателей, кабелей от генератора до ГРЩ, условно считая длину кабелей 15 м., сечение шин ГРЩ.

### *Практическая работа 10*

#### **Расчет при помощи практических методов вычисления токов симметричного короткого замыкания.**

Произвести расчёт максимально возможного ударного тока генераторного автоматического выключателя при коротких замыканиях (учитывать только сопротивления генераторов и кабелей), а также в шинах ГРЩ (сопротивлением шин пренебречь). Проверить генераторные автоматические выключатели на динамическую устойчивость. Исходные параметры выключателя взять по результатам практической работы № 9.

### *Практическая работа 11*

#### **Определение периодической составляющей тока КЗ с помощью расчетных кривых.**

Определить периодическую составляющую тока КЗ с помощью расчетных кривых при коротких замыканиях на элементах первичной силовой сети (учитывать только сопротивления генераторов и кабелей), а также в шинах ГРЩ (сопротивлением шин пренебречь). Использовать графики представленные в методических указаниях к курсовому проектированию. Исходные параметры выключателя взять по результатам практической работы № 9.

### *Практическая работа 12*

#### **Определение напряжения и токов синхронного генератора при несимметричной нагрузке.**

Произвести расчёт напряжения и тока на шинах ГРЩ при несимметричном изменении нагрузки. Сначала произвести расчёт при работе одного генератора. При расчете учесть изменение  $\cos\phi$  и характера нагрузки. Если провал напряжения превысит допустимую норму, рассчитать сколько генераторов необходимо включить на параллельную работу, чтобы обеспечить допустимый провал напряжения. Исходными данными для расчета принять результаты практических работ № 1 - № 5. Составить структурную схему автоматизации электростанции.

### *Практическая работа 13*

#### **Расчет шин электрораспределительных устройств.**

Произвести расчёт шин электрораспределительных устройств. Исходными данными для расчета принять результаты практических работ № 1 - № 5. Используя справочные таблицы произвести выбор сечение шин ГРЩ. Составить структурную схему генерирования электроэнергии (показать генераторы, кабельные линии, генераторные автоматические выключатели, секционные выключатели и шины).

### *Практическая работа 14*

**Практический метод вычисления наибольшего значения тока КЗ машин постоянного тока.**

Произвести расчёт максимально возможного значения тока короткого замыкания машины постоянного тока. Исходные данные для расчета принять согласно таблице 2. Расчет произвести для генераторного и двигательного режима работы машины постоянного тока. Произвести расчет и выбор автоматических выключателей и плавких вставок. Проверить автоматические выключатели на динамическую устойчивость. Исходные параметры выключателя взять по результатам практической работы № 9.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

### *Основная литература*

1. *Баранов А.П.* Судовые автоматизированные электроэнергетические системы. – СПб: Судостроение, 2005. – 528 с.
2. *Богомолов В.С.* Судовые электроэнергетические системы и их эксплуатация – М.: Мир, 2006. – 327 с.

### *Дополнительная литература*

3. *Аветисян Д.А.* Автоматизация проектирования электрических систем – М.: Высшая школа, 1987. – 352 с.
4. *Алексеев Н.А., Макаров С.Б., Портнягин Н.Н.* Микропроцессорные системы управления электроэнергетическими установками промысловых судов. – М.: Колос, 2008. – 118 с.
5. *Баранов А.П., Раимов М.М.* Моделирование судового электрооборудования и средств автоматики. – СПб.: Элмор, 1997. – 232 с.
6. *Краснов В.В., Мещанинов П.А., Мещанинов А.П.* Основы теории и расчета судовых электроэнергетических систем. – Л.: Судостроение, 1989. – 373 с.
7. *Никифоровский Н.Н., Норневский Б.И.* Судовые электрические станции. Изд-во «Транспорт», 1974 г. – 432 с.
8. *Сергиенко Л.И., Миронов В.В.* Энергоэнергетические системы морских судов. – М.: Транспорт, 1991. – 264 с.
9. *Соловьев, В.И. Самулеев.* Судовые электроэнергетические системы. – М.: Транспорт, 1991. – 248 с.
10. *Таев И.С.* Основы теории электрических аппаратов. – М.: Высшая школа, 1987. – 352 с.
11. *Токарев Л.Н.* Математическое описание, расчет и моделирование физических процессов в судовых электростанциях. – Л.: Судостроение, 1980. – 119 с.
12. *Яковлев Г.С.* Судовые электроэнергетические системы. – Л.: Судостроение, 1987. – 272 с.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Камчатский государственный технический университет»  
Мореходный факультет  
Кафедра «Энергетические установки и электрооборудование судов»

## **ОСНОВЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Методические указания к курсовой работе  
*для студентов,*  
*обучающихся по специальности 13.03.02*  
*«Электроэнергетика и электротехника»*  
*профиль «Электрооборудование и*  
*автоматика судов»*  
*заочной формы обучения*

Петропавловск-Камчатский

2024

Рецензент

**Белов Олег Александрович, к.т.н., доцент кафедры ЭУЭС**

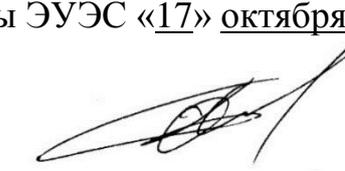
Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем: методические указания к курсовой работе по дисциплине для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» заочной формы обучения / О.А. Белов – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2024. – с.58

Методические указания к курсовой работе составлены в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов», утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 28 февраля 2018 г. № 144 (уровень бакалавриат).

Обсуждены:

на заседании кафедры ЭУЭС «17» октября 2024 г., протокол № 4

Зав. кафедрой ЭУЭС \_\_\_\_\_



О.А. Белов

Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем» рассмотрены и утверждены на заседании УМС протокол № 2 от «02» октября 2024 г.

## **1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

1.1. Курсовая работа студентов (КРС) по дисциплине «Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем» является важной составляющей частью подготовки студентов по специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» и выполняется в соответствии с ФГОС ВО. Основной целью КРС является:

- развитие навыков ведения самостоятельной работы;
- приобретение опыта систематизации полученных результатов исследований, формулировку новых выводов и предложений как результатов выполнения работы;
- развитие умения использовать научно-техническую литературу и нормативно-методические материалы в практической деятельности;
- приобретение опыта публичной защиты результатов самостоятельной работы.

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» изучение дисциплины «Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем» направлено на формирование у выпускника следующей универсальной компетенции:

- Способен обосновывать планы и программы технического обслуживания и ремонта оборудования электрических сетей (ПК-2);
  - способность осуществлять управление деятельностью по техническому обслуживанию и ремонту электроустановок (ПК-4);
- Способен планировать и вести деятельность по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования(ПК-3).

1.2. В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- организационно-распорядительные, нормативно-технические и методические документы по вопросам эксплуатации высоковольтных линий электропередачи;
- основы экономики и организации производства, труда и управления в энергетике;
- правила технической эксплуатации электрических станций, сетей: техническое обслуживание и ремонт силовых кабелей;
- правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: техническое обслуживание и ремонт силовых кабелей;
- правила организации технического обслуживания и ремонта оборудования, зданий и сооружений электростанций и сетей;
- правила пользования инструментом и приспособлениями, применяемыми при ремонте и монтаже энергетического оборудования;
- законодательные и нормативно-правовые акты, методические материалы по вопросам производственного планирования и оперативного управления производством;

- нормальные, аварийные, послеаварийные и ремонтные режимы эксплуатации оборудования, закрепленного за подразделением;
- организационно-распорядительные, нормативно-технические и методические документы по вопросам эксплуатации высоковольтных линий электропередачи;
- основы трудового законодательства Российской Федерации в объеме, необходимом для выполнения трудовых обязанностей;
- требования охраны труда, промышленной и пожарной безопасности и производственной санитарии, регламентирующие деятельность по трудовой функции
- требования охраны труда, промышленной и пожарной безопасности, производственной санитарии и противопожарной защиты, регламентирующие деятельность по трудовой функции;
- инструкции по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве;
- законодательные и нормативные правовые акты, методические материалы по вопросам производственного планирования и оперативного управления производством;
- нормативные правовые акты и методические документы по вопросам деятельности подразделения;
- положения и инструкции по расследованию и учету технологических нарушений, несчастных случаев на производстве;
- методы анализа качественных показателей работы оборудования подстанций электрических сетей;
- принципы и правила производственного планирования в организации в части технического обслуживания и ремонта оборудования подстанций электрических сетей;
- нормативные правовые акты, определяющие направления развития электроэнергетики;
- методики проведения противоаварийных и противопожарных тренировок;
- правила работы с персоналом в организациях электроэнергетики;
- основы трудового законодательства Российской Федерации.

### 1.3. В результате изучения дисциплины студент должен уметь:

- вести техническую и отчетную документацию;
- планировать и организовывать работу подчиненных работников;
- применять автоматизированные системы мониторинга и диагностики кабельных линий электропередачи;
- применять справочные материалы, анализировать научно-техническую информацию в области эксплуатации кабельных линий электропередачи;
- проводить визуальные и инструментальные обследования и испытания;
- работать с текстовыми редакторами, электронными таблицами, электронной почтой и браузерами, специализированными компьютерными программами;

- разрабатывать предложения по текущему и перспективному планированию работ по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередач;
- вести техническую и отчетную документацию;
- организовывать деятельность по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередачи;
- организовывать работу при внедрении новых устройств;
- планировать и организовывать работу подчиненных работников;
- планировать производственную деятельность, ремонт оборудования кабельных линий электропередачи;
- разрабатывать предложения по текущему и перспективному планированию работ по техническому обслуживанию, ремонту;
- принимать управленческие решения на основе анализа оперативной рабочей ситуации;
- оценивать результаты своей деятельности и деятельности подчиненных;
- формулировать задания подчиненному персоналу по техническому обслуживанию и ремонту оборудования подстанций электрических сетей;
- организовывать рабочие места, их техническое оснащение;
- контролировать деятельность, исполнение решений;
- оценивать потребность в дополнительной подготовке персонала исходя из профиля должности и квалификации работников.

#### 1.4. В результате изучения дисциплины студент должен владеть:

- навыками оформления заявок на оборудование, материалы, запасные части, и др. необходимые для технического обслуживания и ремонта материальные ресурсы, а также проектно-конструкторскую и нормативно-техническую документацию, контроль выполнения заявок;
- навыками подготовки предложений в планы-графики осмотров, ремонта и технического обслуживания кабельных линий электропередачи;
- контролирует подготовку исходных и технических условий для проектирования строительства и реконструкции высоковольтных линий электропередачи;
- контроль подготовки планов-графиков осмотров, ремонта и технического обслуживания кабельных линий и контроль их выполнения;
- навыками контроля подготовки утвержденных дефектных ведомостей, проектов проведения работ и карт организации труда;
- навыками проведения аттестации и подготовки к сертификации рабочих мест на соответствие требованиям охраны труда;
- проверяет корректность расчетов, выполненных с целью обоснования планов и программ деятельности по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередач;

- навыками контроля состояния и ведения технической документации в курируемом подразделении;
- организует ведение договорной работы для обеспечения технического обслуживания и ремонта кабельных линий электропередачи;
- организует документационное сопровождение деятельности по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередачи, сооружений, контроль ведения исполнительной документации;
- организует оформление графиков освидетельствования;
- навыками организации планирования потребности в материальных ресурсах для технического обслуживания и ремонта кабельных линий электропередачи;
- организует разработки и согласование технических условий, технических заданий по обеспечению технического обслуживания и ремонта кабельных линий электропередачи;
- подготавливает проекты текущих и перспективных планов работы подразделения, графиков выполнения отдельных работ (мероприятий), согласование условий и сроков их выполнения с заинтересованными лицами (подразделениями) организации, а также с заказчиками и соисполнителями, доведение утвержденных плановых заданий до подчиненного персонала;
- расследует причины технологических нарушений в работе оборудования, несчастных случаев;
- навыками распределения производственных задач для подчиненного персонала, расстановка персонала по участкам, бригадам, обслуживаемым объектам;
- организации обеспечения рабочих мест персонала нормативной, методической, проектной документацией и инструкциями по техническому обслуживанию и ремонту оборудования подстанций электрических сетей;
- контроль сроков и качества работ подчиненного персонала по техническому обслуживанию и ремонту оборудования подстанций электрических сетей;
- контроль соблюдения подчиненным персоналом производственной и трудовой дисциплины, своевременности прохождения проверки знаний и медицинских осмотров;
- организует разработку и пересмотра должностных инструкций подчиненного персонала;
- организация и контроль соблюдения подчиненным персоналом требований промышленной, пожарной, экологической безопасности и охраны труда в процессе работы по техническому обслуживанию и ремонту оборудования подстанций электрических сетей, принятие мер по устранению выявленных нарушений;
- организация и проведение инструктажей, тренировок, технической учебы персонала по работе с закрепленным оборудованием подстанций электрических сетей, по охране труда, пожарной и промышленной безопасности.

## 2. СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АБ	- аккумуляторная батарея;
АД	- асинхронный двигатель;
АДГ	- аварийный дизель-генератор;
АПС	- аварийно-предупредительная сигнализация;
АРН	- автоматический регулятор напряжения;
АРЧ	- автоматический регулятор частоты;
АРЩ	- аварийный распределительный щит;
ВГ	- валогенератор;
ВРШ	- винт регулируемого шага;
ГРЩ	- главный распределительный щит;
ДАУ	- дистанционное автоматическое управление;
ДГ	- дизель-генератор;
ДВС	- двигатель внутреннего сгорания;
ДГА	- дизель-генераторный агрегат;
КЗ	- короткое замыкание;
КПД	- коэффициент полезного действия;
МО	- машинное отделение;
ОВГ	- обмотка возбуждения генератора;
ПЭ	- потребитель электроэнергии
РЩ	- распределительный щит;
СГ	- синхронный генератор;
СЭС	- судовая электростанция;
СЭЭС	- судовая электроэнергетическая система;
ТГ	- турбогенератор;
ТН	- трансформатор напряжения;
ТТ	- трансформатор тока;
ЦПУ	- центральный пост управления;
ЩПБ	- щит питания с берега

### 3. ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергетическая система – основная система судна, т.к. живучесть, безопасность мореплавания, эффективность работы судна определяется результативностью ее функционирования. Следовательно, перечисленные показатели судна однозначно определяются качеством расчета и проектирования СЭЭС. Таким образом, целью изучения дисциплины «Основы расчета и проектирования электроэнергетических систем» являются основные методы проектирования, расчета и моделирования системы для обеспечения высоких технико-эксплуатационных и экономических показателей как источников электрической энергии, так и различного характера потребителей. Является обязательной дисциплиной специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» и ее изучение обеспечивает необходимый уровень профессиональной подготовки специалистов электромехаников, специализирующихся в области технической эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматизации.

Важность дисциплины вытекает из ее названия. Фундаментом безопасности мореплавания судна, его высокой эффективности в работе являются точное проектирование, расчет и моделирование всех судовых систем, в том числе и СЭЭС. Дисциплина ОРИП ЭЭС охватывает расчет и выбор элементов СЭЭС, исследование (математическое моделирование на основе ЭВМ) систем автоматического управления и регулирования, проверку выбранных элементов СЭЭС на падения и потери напряжения, электродинамическую и электротермическую устойчивость, регулировку по току и времени срабатывания.

Цель преподавания дисциплины заключается в подготовке специалиста, владеющего методикой решения определенных технических задач и разработкой конструкторской документации.

Задачи при изучении дисциплины: научить студентов применять полученные теоретические знания к решению практических задач проектирования, эксплуатации и ремонта современных судовых систем.

## **4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ**

### **4.1 Цель и задачи курсовой работы**

Целью курсовой работы (КР) является приобретение практических навыков в инженерных расчетах, в использовании теоретических знаний, полученных на лекциях, в умении пользоваться справочной литературой, в выборе конкретного электрооборудования согласно расчетам.

В задачи работы входит расчет судовой электростанции и выбор генератора, формирование аккумуляторных батарей, расчет и выбор аппаратов управления и защиты, кабельных линий, шин распределительных устройств, электроизмерительных приборов. Одна из задач КР предусматривает приобретение умений в расчетах токов короткого замыкания и проверка устойчивости в этих условиях выбранной аппаратуры и шинопроводов.

### **4.2 Методика проектирования**

Проектирование ведется в соответствии с индивидуальным заданием и планом-графиком, предусматривающим поэтапный контроль выполнения проекта. По основным разделам проекта даются групповые консультации, при необходимости – индивидуальные. При проектировании руководствуются настоящими методическими указаниями, курсом лекций по дисциплинам «Судовые автоматизированные электроэнергетические системы» и «Основы расчета и проектирование электроэнергетических систем», правилами Российского Морского Регистра и другими источниками, перечень которых приведен в настоящих указаниях.

При выполнении расчетов следует соблюдать следующие правила:

расчет искомой величины необходимо начинать с написания формулы в символическом выражении и только после этого – с числовыми значениями;

каждый раз указывать название и размерность всех заданных и вычисляемых величин;

построение графических характеристик выполнять на миллиметровой бумаге с обязательным цифровым обозначением шкал по осям координат, возможно применение компьютерной графики;

результаты некоторых громоздких расчетов рекомендуется заносить в таблицы, формы которых будут указаны ниже в соответствующих разделах настоящих методических указаний.

### **4.3 Задание на проектирование**

Задание на проектирование выдается каждому студенту и содержит в себе тип судна, район его плавания, водоизмещение, напряжение сетей постоянного и переменного тока, тип главного двигателя.

В задании имеются разделы, характеризующие судовую электроэнергетическую систему и условия ее эксплуатации. Ниже приводятся названия и характеристики этих разделов.

### I. Электроснабжение от генераторов

Таблица 4

№ п/п	Наименование потребителя электроэнергии	Число од-ноим. по-треб., $n_y$	Номинальная уста-новл. мощность, $P_{ну}$ , кВт	Номин. КПД, $\eta_n$	Номин. коэф. мощн., $\cos\varphi_n$	Режим работы судна

### II. Электроснабжение от аккумуляторных батарей

Характеристика стартерного пуска:

Мощность аварийных потребителей:

### III. Кабельные линии

Марки кабелей

Длины кабелей

Способ прокладки кабеля

### IV. Характеристика распределительных щитов

Таблица 5

№ РЩ	№ потребителя, подключаемого к РЩ	Продолжительность рабочего периода РЩ $t_{раб}$ , ч/сут	Коэффициент совместной работы потребителей $K_{ср.РЩ}$	Рядность про-кладки кабеля от РЩ до РЩ

### V. Условия эксплуатации

Температура окружающей среды

Коэффициент загрузки потребителя  $K_z$

### VI. Точки короткого замыкания

Указываются руководителем проекта на функциональной схеме распределения электроэнергии.

### VII. Характеристика мощного асинхронного двигателя

Указывается в процентах от мощности одного генератора.

### VIII. Объем проекта

Включает указания об объеме и содержании пояснительной записки, о количестве и наименовании чертежей.

## IX. График выполнения проекта

Таблица 6

№ п/п	Название раздела и его содержание	% выполнения	Срок выполнения

## X. Рекомендуемые источники информации

Таблица 7

№ п/п	Наименование источника	Глава, параграф пункта источника	Раздел проекта, описанного в источнике

Задание выдано

Руководитель проекта

### 4.4 Оформление работы

Курсовая работа оформляется в виде двух чертежей и пояснительной записки. Один из чертежей представляет собой функциональную схему распределения электроэнергии, на которой руководитель указывает точки короткого замыкания. Второй чертеж относится к одной из панелей ГРЩ или АРЩ с указанием технических характеристик электроизмерительных приборов, трансформаторов напряжений и токов, выключателей, входящих в состав панели.

Пояснительная записка должна включать титульный лист, задание на курсовой проект, оглавление, введение, текст записки, заключение и список использованных литературных источников.

Разделы текста записки, которые будут описаны ниже, нумеруются арабскими цифрами. Разделы делятся на подразделы (например, 3.1, 3.2 и т.д.). Также нумеруются рисунки и таблицы внутри раздела. Все листы пояснительной записки также нумеруются. Текст записки должен быть лаконичным и технически грамотным. Все величины, входящие в формулы, должны иметь пояснения, начиная со слова «где».

В тексте записки можно использовать только общепринятые сокращения (например, короткое замыкание – КЗ). Ссылки на литературу дают с указанием страниц, например, [6, с. 68]. Небольшие рисунки допускается изображать в тексте, другие – на отдельных листах. Это же правило должно действовать относительно таблиц большого формата.

Чертежи и схемы выполняются в соответствии с требованиями ЕСКД. Наличие штампа на чертеже обязательно.

Далее описаны методические указания к расчетам и проектированию отдельных разделов курсового проекта. Нумерацию разделов и подразделов, а также их названия необходимо перенести в пояснительную записку.

### 4.5 Составление таблиц электрических нагрузок

Табличный метод выбора генераторов электростанции отличается наглядностью, простотой расчётов и может считаться универсальным для большинства судов, поэтому он получил широкое распространение. Задачей составления таблицы является определение мощности электростанции в различных режимах работы судна и служит основой для выбора количества и мощности генераторных агрегатов.

Согласно требованиям Регистра РФ определение состава и мощности генераторов должно производиться с учётом следующих режимов работы судна:

ходового режима;

маневров (съёмки с якоря);

аварийный (во время пожара, пробойны корпуса или других влияющих на безопасность плавания судна условий при работе основной электростанции);

других режимов в соответствии с назначением судна, в частности для промысловых судов можно выделить такие режимы:

стоянка;

стоянка с грузовыми операциями;

промысловый;

ходовой с обработкой морепродуктов.

Таблица нагрузок составляется по форме, указанной в таблице 8.

Таблица 8

**Форма таблицы нагрузок**

Наименование потребителя	Количество	Установленная мощность, $P_{к.уст.}$ , кВт	$\eta$ , К.П.Д. о.е.	$\cos \varphi$	Номинальная потребляемая мощность, кВт		Наименование режима			
					Единичная, $P_{ед}$	Общая, $P_{общ}$	Коэффициент одно-временности, $K_0$	Коэффициент загрузки, $K_3$	Потребляемая мощность	
									Активная, $P_{погр.}$ Вт	Реактивная, $P_{погр.}$ кВАр
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

В графу 1 заносят все потребители электрической энергии. Потребители разделяются на характерные группы (палубные механизмы, механизмы силовой установки, механизмы общесудовых систем, средства внешней связи и навигации, камбузное и бытовое оборудование, промышленное оборудование, холодильное оборудование и т.д. Все разноимённые механизмы записывают в таблицу отдельно. Мелкие одноимённые потребители, такие как освещение, камбуз, радиооборудование и т.п., записываются в таблицу одной строкой с указанием общей потребляемой мощности (графа 7).

В графе 2 проставляется количество одноимённых потребителей, в графе 3 – установленная (номинальная) мощность.

Зная мощность и тип двигателей, в графу 4 и 5 заносят КПД ( $\eta$ ) и  $\cos \varphi$ .

Затем определяют для графы 6 единичную потребляемую мощность электродвигателей по формуле:

$$P_{ед} = \frac{P_{уст}}{\eta} \text{ кВт} \quad (34)$$

После этого в графу 7 заносят общую потребляемую мощность  $P_{общ}$  электродвигателей, вычисленную по формуле

$$P_{общ} = P_{ед} \cdot n, \text{ кВт} \quad (35)$$

где  $n$  – количество одноимённых потребителей.

Далее устанавливаются коэффициенты одновременности  $K_0$  и загрузки  $K_3$  для каждого из режимов работы судна. Рекомендуемые коэффициенты загрузки указаны.

Для потребителей, не работающих в данном режиме, делают прочерки. Кратковременно работающие (в течение нескольких минут или десятка минут) потребители могут не учитываться в нагрузке электростанции, эта нагрузка служит лишь проверкой на возможные перегрузки генераторов. Поэтому мощность потребителей, работающих кратковременно, включаются в таблицу в скобках.

Потребляемая активная мощность определяется по формуле:

$$P_{потр} = K_0 \cdot K_3 \cdot P_{общ}, \text{ кВт} \quad (36)$$

Потребляемая реактивная мощность определяется по формуле:

$$Q_{потр} = P_{потр} \cdot tg\varphi, \text{ кВАр} \quad (37)$$

где  $tg\varphi$  определяется через значение  $Cos\varphi$ .

Заполнив всю таблицу, находят суммарные потребляемые мощности с учётом и без учёта нагрузки в скобках в каждом режиме путём сложения потребляемых мощностей отдельно активных и реактивных,  $P_{\Sigma потр}$  и  $Q_{\Sigma потр}$ .

Далее выбирается так называемый общий коэффициент одновременности  $K_{0,общ}$  для каждого из режимов работы. Общий коэффициент одновременности учитывает несовпадение максимумов нагрузок потребителей во времени, так как нельзя считать реальным совершенно одновременную работу всех потребителей. Опыт показывает, что величина этого коэффициента колеблется в пределах 0,6–1,0. В более напряжённых режимах, каковыми являются ходовые и аварийные, этот коэффициент ближе к единице, а в других режимах – к 0,6. Необходимо также учесть потери электроэнергии в сетях, что учитывается коэффициентом потерь  $K_{потерь}$ , который находится в пределах от 1,03 (для небольших судов) до 1,05 (для больших).

В итоге расчётная активная мощность  $P_{расч}$  электростанции определяется по формуле

$$P_{расч} = K_{0,общ} \cdot K_{потерь} \cdot P_{\Sigma}, \text{ кВт} \quad (38)$$

Расчётная реактивная мощность  $Q_{расч}$  определяется по формуле

$$Q_{расч} = K_{0,общ} \cdot Q_{\Sigma}, \text{ кВАр} \quad (39)$$

Расчётная полная мощность определяется по формуле:

$$S_{\text{расч}} = \sqrt{P_{\text{расч}}^2 + Q_{\text{расч}}^2}, \text{ кВт} \quad (40)$$

Определяется средневзвешенный коэффициент мощности по формуле:

$$\cos \varphi_{\text{ср}} = \frac{P_{\text{расч}}}{S_{\text{расч}}} \quad (41)$$

Если средневзвешенный коэффициент мощности получился более 0,8, то выбор генераторов необходимо производить по активной мощности, если меньше – по полной мощности.

#### 4.6 Расчет мощности электростанции

Расчет ведется на основании раздела I задания «Электроснабжение от генераторов» и методики, данной на лекциях и описанной в литературном источнике [2] «Судовые электроэнергетические системы». Используется табличный метод, в котором конечными формулами, определяющими мощность электростанции, являются

$$\begin{aligned} P_{\text{расч}} &= \sum P \cdot K_{\text{ср}} \\ Q_{\text{расч}} &= \sum Q \cdot K_{\text{ср}} \\ S_{\text{расч}} &= \sqrt{P_{\text{расч}}^2 + Q_{\text{расч}}^2} \\ \cos \varphi_{\text{ср}} &= \frac{P_{\text{расч}}}{S_{\text{расч}}} \end{aligned} \quad (42)$$

где  $P_{\text{расч}}$  – расчетная активная мощность, кВт;

$Q_{\text{расч}}$  – расчетная реактивная мощность, кВАр;

$S_{\text{расч}}$  – расчетная полная мощность, кВА;

$\cos \varphi_{\text{ср}}$  – средневзвешенный коэффициент мощности;

$K_{\text{ср}}$  – коэффициент совместной работы;

$\sum P, \sum Q$  – суммы активных и реактивных мощностей.

Расчет делается для каждого режима работы судна (ходовой, маневровый, стоянка без грузовых операций, стоянка с грузовыми операциями, аварийный) и для каждого режима по расчетным мощностям выбираются генераторы. Для режимов существуют свои коэффициенты загрузки  $K_z$  потребителей электроэнергии. Они указаны в таблице 9.

Таблица 9

Коэффициенты загрузки потребителей электроэнергии

Наименование потребителей	Режимы работы судна				
	ходовой	маневровый	стоянка без грузовых операций	стоянка с грузовыми операциями	аварийный
1	2	3	4	5	6
Рулевой электропривод	0,3-0,4	0,6-0,7	–	–	0,7-0,8
Брашпиль, шпиль	–	0,6-0,8	–	–	–

Грузовые краны	–	–	–	0,5-0,8	–
Насосы охлаждения и смазки главных двигателей	0,8-0,9	0,7-0,8	–	–	0,7-0,8
Сепараторы	0,6-0,8	–	0,4-0,6	0,4-0,6	–
Насосы котельной установки:					
конденсатный	0,7-0,9	0,7-0,9	0,7-0,9	0,7-0,9	0,7-0,9
циркуляционный	0,8-0,9	0,8-0,9	0,8-0,9	0,8-0,9	0,8-0,9
питательный	0,5-0,7	0,5-0,7	0,5-0,7	0,5-0,7	0,5-0,7
Насосы пожарные:					
главный	–	–	0,7-0,8	–	0,9-1,0
аварийный	–	–	–	–	0,9-1,0
Насос балластно-осушительный	0,7-0,9	–	0,7-0,9	0,7-0,9	0,8-0,9
Компрессор					
главный	0,6-0,9	0,8-0,9	–	–	–
аварийный	–	–	–	–	0,7-0,9
Вентиляторы	0,8-1,0	0,8-1,0	0,8-1,0	0,8-1,0	0,6-0,8
Кондиционеры	0,7-0,8	0,7-0,8	0,7-0,8	0,7-0,8	–
Плиты камбуза	0,5-0,9	0,5-0,9	0,5-0,9	0,5-0,9	–
Мастерская	0,3-0,4	0,3-0,4	0,3-0,4	0,3-0,4	–
Навигационное оборудование	0,4-0,6	0,5-0,7	–	–	0,6-0,8
Варяжный агрегат	0,7-0,9	–	0,7-0,9	0,7-0,9	–
Сеть освещения	0,6-0,7	0,6-0,7	0,4-0,6	0,4-0,6	0,7-0,8
Радиооборудование	0,7-0,8	0,7-0,8	0,2-0,3	0,2-0,3	1,0

Коэффициент одновременности  $K_0$  постоянно работающих потребителей (например, насосы охлаждения в ходовом режиме) принимают в пределах  $K_0 = 0,5 \dots 1,0$ . Ближе к верхнему пределу  $K_0$  выбирают в аварийном и ходовом режимах. Коэффициент одновременности для потребителей временной нагрузки (например, компрессор пускового воздуха) принимают порядка  $K_0 = 0,3 \dots 0,6$ . Ближе к верхнему пределу выбирают  $K_0$  в маневровом и аварийном режимах.

#### 4.7 Выбор генераторов

Эта задача решается после полного оформления таблицы нагрузок и получения данных по формулам. Обращается внимание на средневзвешенный коэффициент мощности  $\cos \varphi_{\text{ср}}$ . Если он окажется больше 0,8, то выбор генератора производят по активной мощности  $P$ , если меньше – по полной  $S$ .

Для каждого режима работы судна мощности друг от друга могут существенно отличаться. Но надо стремиться к тому, чтобы электростанция состояла из однотипных генераторов. Соответствия генерируемой и потребляемой мощности в этом случае решается за счет увеличения или уменьшения количества работающих генераторов. Неработающие генераторы остаются в резерве. Это обстоятельство обязательно отмечается в расчетной таблице, где есть строки: «количество и мощность резервных генераторов».

Двигатели подруливающих устройств включаются только в режиме маневров судна. Они, как правило, являются мощными двигателями и соизмеримы по мощности с генераторами. Пуск их осуществляется специальными методами. Поэтому для маневрового режима один из генераторов, почти равный по мощности двигателю подруливающего устройства, предназначается для этого двигателя, а другие – для остальных потребителей. В расчет мощности СЭС двигатель подруливающего устройства не включать.

В ходовом режиме очень эффективно использовать валогенератор (ВГ), особенно на судах с винтом регулируемого шага (ВРШ). Он может отличаться по мощности от дизель-генераторов (ДГ) и его выбирают отдельно от других генераторов. Но так как для ВГ имеются проблемы со стабилизацией частоты (как с ВРШ, так и без него), то во всех случаях в судовой электростанции должен быть предусмотрен автоматический пуск ДГ при отклонении частоты от нормированной величины. В качестве генератора валогенераторной установки обычно используются электрические машины небольшой частоты вращения серии МСС или ГМС.

На судах большого водоизмещения в ходовом режиме возможно использование турбогенераторов, получающих энергию в виде пара от утилизационного котла. Поэтому их называют утилизационными турбогенераторами (УТГ). Утилькотлы используют энергию выпускных газов главной энергетической установки судна.

Необходимые данные по выбору дизель-генераторов и турбогенераторов приведены в табл. 10 и табл. 11.

Для уменьшения расхода топлива количество и номинальные мощности генераторов должны быть такими, чтобы коэффициенты загрузки при работе в длительных режимах составляли 60–90% номинального, в кратковременных режимах – не менее 50%. Коэффициент загрузки можно повысить за счёт большого количества генераторов относительно небольшой мощности с применением их параллельной работы. Однако количество генераторов ограничивается возможностью их размещения на судне и обычно составляет 2–4. Технические характеристики генераторов указаны в таблице 10.

Таблица 10

Технические характеристики генераторов

Тип генератора	Мощность		Напряжение, В	Ток статора, ка	$x_s$	$x_d$	$x'_d$	$x''_d$	$t'_a$ при 75°C	$t''_a$ , сек
	кВа	кВт			в относительных единицах					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
МСК-82-4	37,5	300	400/230	$\frac{0,0542}{0,0935}$	0,108	2,228	0,258	0,178	$\frac{0,0465}{0,0440}$	0,148
МСК-83-4	62,5	50	400/230	$\frac{0,091}{0,157}$	0,0813	2,0813	0,21	0,143	$\frac{0,0296}{0,0322}$	0,159
МСК-91-4	94	75	400/230	$\frac{0,1355}{0,234}$	0,089	2,149	0,245	0,185	$\frac{0,0359}{0,370}$	0,166
МСК-92-4	125	100	400/230	$\frac{0,18}{0,312}$	0,078	2,158	0,202	0,176	$\frac{0,0303}{0,0292}$	0,06

МСК-102-4	187,5	150	400/230	$\frac{0,27}{0,467}$	$\frac{0,0763}{0,0739}$	$\frac{1,996}{2,074}$	$\frac{0,186}{0,189}$	0,124	$\frac{0,0284}{0,0298}$	$\frac{0,157}{0,145}$
МСК-103-4	250	200	400	0,361	0,055	1,915	0,23	0,176	0,0254	0,233
МСК113-4	375	300	400	0,542	0,0524	1,602	0,20	0,122	0,0185	0,31
МСК114-4	500	400	400	0,722	0,0457	1,666	0,20	0,108	0,397	0,34
МСК625-1500	625	500	400	0,902	0,098	2,178	0,228	0,167	0,0145	0,36
МСК750-1500	750	600	400	1,084	0,086	2,306	0,236	0,15	0,013	0,39
МСК940-1500	940	750	400	1,36	0,091	2,111	0,231	0,158	0,0126	0,43
МСК1250-1500	1250	1000	400	1,81	0,093	2,053	0,213	0,15	0,0114	0,36
МСК1560-1500	1560	1250	400	2,26	0,069	2,039	0,194	0,127	0,0093	0,39
МСК1875-1500	1875	1500	400	2,71	0,056	1,976	0,176	0,11	0,0084	0,37

Для турбогенераторов доводы те же.

При выборе количества генераторов и комплектации судовой электростанции (СЭС) надо учитывать следующие обстоятельства:

неравномерность распределения нагрузок при параллельной работе генераторов достигает 10%;

за время срока службы судна возможно увеличение потребителей и нагрузки на электростанцию до 10%;

согласно правилам Морского Регистра количество и мощность генераторов должно быть такими, чтобы при выходе из строя любого из них оставшиеся обеспечивали любой режим работы судна, т.е. количество генераторов должно быть как минимум два.

Таблица 11

**Технические характеристики судовых турбогенераторов с генераторами типа МСК, напряжением 400 В, 1500 об/мин**

Тип агрегата	Мощность генератора, кВт	Масса, т
ГД 100-1	100	5,56
ГД 400-1	400	11,32
ТГУ-500	500	13,0
ТГУ-750	750	21,5
ТГУ-1000	1000	22,15

Поэтому полное количество генераторов вычисляют по следующим формулам:

$$n_{\Gamma} = 1,2 \frac{P_i}{P_{\text{нг}}} \quad (43)$$

$$n_{\Gamma.\text{СЭС}} = \Pi_{\Gamma} + 1 \quad (44)$$

где  $P_i$  – нагрузка СЭС в I-ом режиме, кВт;

$P_{\text{нг}}$  – номинальная мощность генератора, кВт;

$n_{\Gamma.\text{СЭС}}$  – полное количество генераторов СЭС.

Количество вычисленных по формуле (43) генераторов  $n_g$  округляют до ближайшего большего числа.

Тип и номинальную мощность генератора  $P_{нг}$  выбирают в соответствии с методическими указаниями. При этом учитывают, чтобы в длительных режимах эксплуатации (ходовой, стояночный) генератор был загружен на 75÷85%.

#### 4.8 Расчет и выбор аварийного генератора

На судах валовой вместимостью более 300 рег. т устанавливают аварийные генераторы с автоматическим вводом их в работу при исчезновении напряжения на шинах главного распределительного щита (ГРЩ). В качестве аварийного агрегата применяют аварийный дизель-генератор (АДГ), как правило, со стартерным пуском от аккумуляторной батареи. Аварийный генератор снабжает электроэнергией аварийный распределительный щит (АРЩ), к которому подключаются особо ответственные потребители (потребители 1-й группы), обеспечивающие безопасность плавания и живучесть судна. К потребителям 1-ой группы относятся: рулевой электропривод, аварийное освещение, аварийные пожарные насосы и аварийные компрессоры, осушительные насосы, радиооборудование, электронavigационные приборы, средства связи и оповещения, пожарная и аварийная сигнализация, отличительные огни.

Из перечня видно, что не все потребители аварийного режима работы судна (см. задание на проектирование) относятся к потребителям 1-й группы. В нее входят только те потребители, которые должны функционировать в случае отказа основной электростанции. Аварийный режим судна может представлять собой пожар, пробоину и т.д. без отказа основной электростанции. Поэтому при расчете мощности аварийного генератора принимаются во внимание вышеперечисленные потребители 1-й группы ответственности.

#### 4.9 Выбор трансформаторов

Для электроснабжения освещения, камбузного оборудования и других потребителей напряжением 220 В применяют силовые трехфазные трансформаторы, подающие энергию на отдельную секцию ГРЩ. В соответствии с требованиями Российского Регистра таких трансформаторов должно быть не менее двух.

Кроме того, для питания с берега на некоторых судах применяют разделительные трехфазные трансформаторы напряжением 380/380 В. Они являются также силовыми.

Для электроснабжения радиооборудования, электронavigационных приборов, средств связи и оповещения и других потребителей 1-й группы используют, в основном, однофазные понижающие трансформаторы.

Технические характеристики трансформаторов приведены в справочных таблицах. Выбор производится по трем параметрам: количеству фаз, напряжению (на входе и на выходе) и мощности. Мощность трансформатора  $S_n$  (кВА) определяет-

ся через мощность потребителей  $P_2$ (кВт) и сначала производится предварительная оценка

$$S_H = \frac{P_2}{\beta \cdot \cos \varphi_2}, \quad (45)$$

где  $\beta$  – коэффициент нагрузки; для максимального КПД  $\beta = 0,5 \dots 0,7$  [3, с.199];  $\cos \varphi_2 = 0,9 \dots 1,0$  [4, с.7].

По предварительно выбранной мощности  $S_H$  выбираются трансформатор, мощность которого близка  $S_H$ . Затем записываются параметры этого трансформатора и делается уточняющий пересчет.

Прежде всего, уточняется коэффициент нагрузки:

$$\beta = \sqrt{\frac{P_o}{P_k}}, \quad (46)$$

где  $P_o$  – потери холостого хода, Вт;  
 $P_k$  – потери короткого замыкания, Вт.

Затем на основании вычисляются уточненный коэффициент мощности

$$\cos \varphi_2 = \frac{\eta(\beta^2 P_k + P_o)}{\beta S_H (1 - \eta)}, \quad (47)$$

где  $\eta$  – КПД трансформатора.

Используя уточненные значения  $\beta$  и  $\cos \varphi_2$ , вычисляется уточненные значения мощности трансформатора  $S_{Hy}$ . Вычисление производится по формуле и выбирается (если результаты вычислений требуют этого) новый трансформатор.

Вычисление и выбор делаются для силовых трехфазных трансформаторов освещения, питания с берега, одного однофазного трансформатора радионавигационного оборудования.

#### 4.10 Расчет и формирование судовых аккумуляторных батарей

Для расчета используется раздел II задания «Электроснабжение от аккумуляторных батарей». Методика расчета указывает, что при выборе аккумуляторов надо учитывать три варианта применения судовых аккумуляторов:

питание потребителей, не имеющих стартерного пуска;

обеспечение стартерного пуска;

питание аварийных потребителей и обеспечение стартерного пуска дизеля.

Количество параллельно соединенных аккумуляторов в батарее  $N_{\text{пар}}$  определяется формулой

$$N_{\text{пар}} = \frac{Q_{\text{расч}}}{Q_{\phi}}, \quad (48)$$

где  $Q_{\text{расч}}$  – расчетная емкость аккумуляторной батареи, определяемая, в основном, суммарной мощностью аварийных потребителей и возможностью саморазряда;

$Q_{\phi}$  – фактическая емкость, определяемая снижением выходного напряжения и энергоотдачи конкретно выбранного аккумулятора при увеличении разрядного тока.

Количество аккумуляторов в батарее зависит от номинального напряжения аккумуляторной сети  $U_n$ , напряжения одного аккумулятора  $U_{н.ак}$  и определяется по формуле

$$N_{бат} = \frac{U_n}{U_{н.ак}} N_{пар} \quad (49)$$

Для указанных потребителей применяются, как правило, щелочные аккумуляторы.

Для стартерного пуска аварийных дизель-генераторов и других двигателей внутреннего сгорания (ДВС) небольшой мощности применяют кислотные аккумуляторы. Как и в первом случае определяется требуемая емкость для стартерного пуска  $Q_{п.ст}$ , на основании которой выбирается аккумулятор, и по кривой находится фактическая емкость  $Q_f$ . Расчетная емкость  $Q_{расч}$  зависит от мощности стартера, продолжительности пуска и возможности саморазряда аккумулятора. Количество аккумуляторов в батарее определяется расчетным методом.

Для этого варианта применяются также кислотные аккумуляторы. Особенность расчета состоит в том, что сравниваются расчетные емкости для аварийных потребителей  $Q_{расч.ав}$  и для стартера  $Q_{расч.ст}$ . Если  $Q_{расч.ав} > Q_{расч.ст}$ , то количество параллельно соединенных аккумуляторов определяется по формуле. Если  $Q_{расч.ав} < Q_{расч.ст}$ , то  $N_{пар}$  вычисляется по формуле

$$N_{пар} = \frac{I_{расч}}{I_f}, \quad (50)$$

где расчетный ток  $I_{расч}$  и фактический ток  $I_f$  находятся по расчетной  $Q_{расч}$  и фактической  $Q_f$  емкостям.

Правильно сформированная батарея должна отдавать столько энергии, сколько требуется потребителям, причем в пределах допустимых напряжений. В соответствии с требованиями Российского Морского Регистра снижение напряжения при разряде батареи должен быть не менее 88% от номинального, т.е.

$$U_{доп} \geq 0,88U_{н.бат}, \quad (51)$$

где  $U_{доп}$  – допустимое снижение напряжения, В;

$U_{н.бат}$  – номинальное напряжение батареи, В.

В таком случае энергоотдача батареи

$$A_{доп} = U_{ср.доп} I_f t_p, \quad (52)$$

где  $U_{ср.доп}$  – среднее допустимое напряжение, В;

$I_f$  – фактический ток, А;

$t_p$  – время разряда, ч.

Батарея сформирована правильно, если

$$A_{доп} \geq A_n, \quad (53)$$

где  $A_n$  – требуемая энергоотдача батареи в течение заданного времени разряда  $t_p$ .

Покажем формирование батареи и проверку на примерах, используя методику.

### Вариант 1.

Дано:  $P_{\Pi} = 22,8$  кВт;  $t_{p.зад} = 0,5$  ч; (судно имеет аварийный ДГ).

Потребное количество электроэнергии

$$A_{\Pi} = P_{\Pi} t_{p.зад} = 22800 \times 0,5 = 11400 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$$

Требуемая емкость батареи

$$Q_{\Pi} = A_{\Pi} \div U_{н.ак} = 11400 \div 12,5 = 912 \text{ А} \cdot \text{ч}$$

Выбираем аккумулятор 10нк-125;  $Q_{н} = 125 \text{ А} \cdot \text{ч}$ .

Расчетная емкость с учетом саморазряда

$$Q_{расч} = Q_{\Pi} \div \kappa_1 = 912 \div 0,9 = 1013,3 \text{ А} \cdot \text{ч}$$

По кривой находим фактическую емкость выбранного аккумулятора

$$Q_{\Phi} = 0,55 \times Q_{н} = 0,55 \times 125 = 68,75 \text{ А} \cdot \text{ч}$$

Число параллельно соединенных аккумуляторов

$$N_{пар} = Q_{расч} \div Q_{\Phi} = 1013,3 \div 68,75 = 14,7 \text{ ак}$$

Принимаем  $N_{пар} = 15$  ак.

Фактический ток, который в состоянии отдавать 15 параллельно соединенных аккумуляторов

$$I_{\Phi} = \frac{N_{пар} Q_{\Phi}}{t_{p.зад}} = \frac{15 \times 68,75}{0,5} = 2062 \text{ А}$$

Среднее допустимое напряжение параллельно соединенных аккумуляторов

$$U_{ср.доп} = \frac{U_{н.ак} - U_{доп.ак}}{2} + U_{доп.ак} = \frac{12,5 - 11,0}{2} + 11,0 = 11,75 \text{ В}$$

где допустимое напряжение аккумулятора

$$U_{доп.ак} = 0,88 U_{н.ак} = 0,88 \times 12,5 = 11,0 \text{ В}$$

Допустимая энергоотдача с учетом допустимого снижения напряжения

$$A_{доп} = U_{ср.доп} I_{\Phi} t_{p.зад} = 11,75 \times 2062 \times 0,5 = 12117 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$$

Сравниваем с потребной энергоотдачей  $A_{\Pi}$

$$12117 > 11400.$$

Следовательно, количество параллельно соединенных аккумуляторов в батарее и их емкость выбраны правильно.

### Вариант 2.

Дано:  $I_{ст} = 1800$  А;  $t_{пуск} = 90$  ч;  $c = 0,025$  ч.

Среднее напряжение аккумулятора при стартерном пуске

$$U_{ср.ст} = \frac{U_{н.ак} - U_{кон}}{2} + U_{кон} = \frac{12,0 - 9,0}{2} + 9,0 = 10,5 \text{ В},$$

где  $U_{кон}$  – конечное напряжение аккумулятора по окончании стартерного пуска, В.

Потребное количество электроэнергии для стартерного пуска

$$A_{п.ст} = U_{ср.ст} I_{ст} t_{пуск} = 10,5 \times 1800 \times 0,025 = 472,5 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$$

Требуемая емкость аккумулятора

$$Q_{\Pi} = \frac{A_{п.ст}}{U_{н.ак}} = \frac{472,5}{12} = 39,37 \text{ А} \cdot \text{ч}$$

Расчетная емкость

$$Q_{\text{расч}} = \frac{39,37}{0,9} = 43,75 \text{ А} \cdot \text{ч}$$

Выбираем аккумулятор типа 6СТ-60,  $Q_{\text{н}} = 60 \text{ А} \cdot \text{ч}$

Фактическая емкость аккумулятора будет равна  $Q_{\text{ф}} = 0,2$ ;  $Q_{\text{н}} = 0,2 \times 60 = 12 \text{ А} \cdot \text{ч}$ .

Число параллельно соединенных аккумуляторов 6СТ-60

$$N_{\text{пар}} = \frac{Q_{\text{расч}}}{Q_{\text{ф}}} = \frac{43,75}{12} = 3,64 \text{ ак}$$

Получилось дробное число, которое округлить невозможно. Выберем аккумулятор другого типа. Для этого определим емкость параллельно соединенных аккумуляторов типа 6СТ-60.

$$Q_{\text{пар}} = N_{\text{пар}} Q_{\text{н}} = 3,64 \times 60 = 218,4 \text{ А} \cdot \text{ч}$$

Перейдем к аккумулятору типа 6ТСТ-115.

$$N_{\text{пар}} = \frac{218,4}{115} = 1,9 \approx 2$$

Делаем проверку правильности выбора аккумулятора.

Определяем фактический ток  $I_{\text{ф}}$ , который могут отдать выбранные аккумуляторы 6ТСТ-115:

$$I_{\text{ф}} = \frac{N_{\text{пар}} \times 0,2 Q_{\text{н}}}{t_{\text{пуск}}} = \frac{2 \times 0,2 \times 115}{0,025} = 1840 \text{ А}$$

Допустимая энергоотдача

$$A_{\text{доп}} = U_{\text{ср.ст}} I_{\text{ф}} t_{\text{пуск}} = 10,5 \times 1840 \div 0,025 = 483 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$$

$483 > 472,5$ , т.е

$A_{\text{доп}} > A_{\text{п.ст}}$

Аккумуляторы выбраны правильно.

### Вариант 3.

Дано:  $I_{\text{ст}} = 1200 \text{ А}$ ;  $t_{\text{пуск}} = 0,056 \text{ с}$ ;  $P_{\text{п.ав}} = 0,9 \text{ кВт}$ ;  $t_{\text{р.зад}} = 12 \text{ ч}$  пассажирское судно на подводных крыльях типа «Комета».

Потребное количество электроэнергии для аварийных потребителей

$$A_{\text{п.ав}} = P_{\text{п.ав}} t_{\text{р.зад}} = 900 \times 12 = 10800 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$$

То же для стартера

$$A_{\text{п.ст}} = U_{\text{ср.ст}} I_{\text{ст}} t_{\text{пуск}} = 10,5 \times 1200 \times 0,056 = 705,6 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$$

Требуемая емкость аккумуляторов

$$Q_{\text{п}} = \frac{A_{\text{п.ав}}}{U_{\text{н}}} + \frac{A_{\text{п.ст}}}{U_{\text{н}}} = \frac{10800}{12} + \frac{705,6}{12} = 900 + 58,8 = 958,8 \text{ А} \cdot \text{ч}$$

Выбираем кислотный аккумулятор типа 6СТК-180,  $Q_{\text{н}} = 180 \text{ А} \cdot \text{ч}$

Фактическая емкость:

$$Q_{\text{ф}} = \kappa'_2 Q_{\text{н}} + \kappa''_2 Q_{\text{н}} = 0,9 \times 180 + 0,2 \times 180 = 162 + 36 = 198 \text{ А} \cdot \text{ч}$$

Расчетная емкость

$$Q_{\text{расч}} = \frac{Q_{\text{п}}}{\kappa_1} = \frac{958,8}{0,9} = 1065 \text{ А} \cdot \text{ч}$$

Количество параллельно соединенных аккумуляторов

$$N_{\text{пар}} = \frac{Q_{\text{расч}}}{Q_{\text{ф}}} = \frac{1065}{198} = 5,38 \text{ ак}$$

Принимаем  $N_{\text{пар}} = 5$  ак.

Делаем проверку правильности выбора. Фактический ток, который способна выдать батарея с  $N_{\text{пар}} = 5$

$$I_{\text{ф}} = \frac{N_{\text{пар}} \kappa'_2 Q_{\text{н}}}{t_{\text{р.зад}}} + \frac{N_{\text{пар}} \kappa''_2 Q_{\text{н}}}{t_{\text{пуск}}} = \frac{5 \times 0,9 \times 180}{12} + \frac{5 \times 0,2 \times 180}{0,056} = 67,5 + 3214 = 3281 \text{ А}$$

Допустимая энергоотдача

$$A_{\text{доп}} = U_{\text{ср.доп}} I'_{\text{ф}} t_{\text{р.зад}} + U_{\text{ср.ст}} I''_{\text{ф}} t_{\text{пуск}} = 11,28 \times 67,5 \times 12 + 10,5 \times 3214 \times 0,056 = 9137 + 1890 = 11027 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$$

Сравниваем с потребной электроэнергией  $A_{\text{п}}$ .

$$A_{\text{п}} = A_{\text{п.ав}} + A_{\text{п.ст}} = 10800 + 705,6 = 11505,6 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$$

$11027 < 11505,6$ , т.е.

$A_{\text{доп}} > A_{\text{п}}$ . Принимаем  $N_{\text{пар}} = 6$ .

$$I_{\text{ф}} = \frac{6 \times 0,9 \times 180}{12} + \frac{6 \times 0,2 \times 180}{0,056} = 81 + 3857 = 3938 \text{ А}$$

$A_{\text{доп}} = 11,08 \times 81 \times 12 + 10,5 \times 3857 \times 0,056 = 10964 + 2268 = 13232 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$   $13232 > 110505$ . Аккумуляторы выбраны правильно.

После выбора и проверки выбранных аккумуляторов в пояснительной записке приводится схема соединения аккумуляторов в батарею (схема сформированной батареи). Отдельно изображаются схемы для электроснабжения потребителей в аварийном режиме и стартерного пуска. На схемах должны быть обозначены типы аккумуляторов. Сам аккумулятор рисуется в виде прямоугольника с положительной и отрицательной клеммами. Клеммы соединяются, образуя параллельное и последовательное соединение аккумуляторов в батарею.

#### 4.11 Разработка системы распределения электроэнергии

Функциональная схема предназначена отобразить выработку и распределение электроэнергии, разделение потребителей на группы ответственности, разделение шин ГРЩ на секции. На функциональной схеме в однолинейном изображении показываются распределительные щиты, коммутирующие аппараты, точки короткого замыкания, длины кабелей, указанных в задании. С помощью ее подбираются аппараты защиты и управления, рассчитываются токи короткого замыкания и потери напряжения на отдельных участках. Типовые функциональные схемы изображены в литературных источниках. На функциональной схеме обяза-

тельно показываються автоматические или пакетные выключатели и предохранители распределительных щитов и потребителей.

При разработке схемы судовой электростанции (СЭС) необходимо предусматривать следующие возможные условия эксплуатации:

- параллельную работу любых генераторов и возможность снабжения электроэнергией всех потребителей;
- секционирование шин ГРЩ для возможности проведения ремонтных работ в ГРЩ;
- наличие двух секций пониженного напряжения с целью переключения их в случае снижения сопротивления изоляции на одной из них;
- обязательное разделение потребителей на группы (категории) ответственности; при этом 2-ю группу можно разделить на две подгруппы (основную и резервную) и подключить их к разным секциям;
- потребители электроэнергии разной мощности расположить таким образом, чтобы нагрузка на шины ГРЩ распределялась более или менее равномерно;
- при наличии мощного потребителя (например, электропривода подруливающего устройства) его надо подключить к шинам генератора так, чтобы он мог работать только от одного из имеющихся генераторов.

При разработке функциональных схем СЭС и СЭЭС исходят из того, что они должны удовлетворять требованиям надежности, живучести, удобства эксплуатации и экономичности.

Разработанную функциональную схему изображают на листе формата А1 с нумерацией всех фидеров. Наименование фидера и его номер оформляются в виде таблицы, расположенной на правой стороне листа.

В схеме условными обозначениями показать генераторы, кабели от шин до ГРЩ, автоматические выключатели, секционные выключатели и шины. Выбрать по номинальным токам питающие кабели генераторов, шины ГРЩ и генераторные автоматические выключатели согласно таблицам 12, 13, 14.

Таблица 12

**Технические характеристики  
автоматических выключателей напряжением 400 В**

Тип автомата	Номинальный ток автомата, <i>a</i>	ток максимального расцепителя, <i>a</i>	Уставка на полное время срабатывания, сек	Допустимое значение ударного тока к.з., <i>ka</i>	Допустимое амплитудное значение тока к.з. в момент времени 0,03 сек, <i>ka</i>	Термическая устойчивость, <i>ka<sup>2</sup>·сек</i>	Эффективное значение предельного тока к.з. в момент расхождения дугогасительных контактов, <i>ka</i>
AM-8	800	130	0,18; 0,38;	30	Не более 70	51	Не более 45
		190	0,63; 1	50		100	

		260		55		170	
		375		63		340	
		500		70		580	
		625		110		1300	
		800		110		1300	
AM-15	1500	1250		110		3000	
		1500		110		3000	
AM-25	2500	2000		120	Не более 80	3000	Не более 50
		2500		120		3000	
AM-30	3000	3000		120			
AM-55	5500	4000		120		3000	
		5500		120		3000	
AC-8	800	75	0,18; 0,38; 0,63	22	20	23	12
		130		52	30	60	15
		190		52	30	100	15
		260		52	30	100	15
		375		52	30	300	15
		500		52	30	500	15
		625		52	30	500	15
		800		52	30	500	15
AC-15 <sup>1</sup>	1500	1250		58	35	500	15
		1500		58	35	500	15
AC-25	2500	2000		62	39	800	20
		2500		62	39	800	20

#### 4.12 Расчет и выбор шин ГРЩ

Расчет и выбор шин ГРЩ сводится к следующим операциям:

1. определение расчетного тока;
2. корректировка расчетного тока;
3. выбор шин;
4. проверка шин на возможность механического резонанса.

Исходными данными для определения расчетного тока  $I_{расч}$  являются данные по максимальной нагрузке электростанции, отраженные в таблице нагрузок для определенного режима работы судна.

$$I_{расч} = \frac{P_{расч.мах} \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_H \cdot \cos \varphi_{ср}}, \quad (54)$$

где  $P_{расч.мах}$  – максимальная расчетная мощность, кВт;

$\cos \varphi_{ср}$  – средневзвешенный коэффициент мощности для режима работы судна, по которому выбрано  $P_{расч.мах}$ .

По величине  $I_{расч}$  в таблице 9 выбирается ток при стандартной температуре окружающей среды  $I_{40}$  (температура окружающей среды  $\Theta_{ос}=40^{\circ}\text{C}$ ). Поскольку

<sup>1</sup> Заменяются автоматами серии АМ

$\Theta_{oc}$  в ГРЩ не всегда совпадает со стандартной, то  $I_{расч}$  корректируется по формуле

$$I'_{расч} = I_{расч} \pm \Delta I, \quad (55)$$

где  $\Delta I$  – величина увеличения или уменьшения расчетного тока в зависимости от  $\Theta_{oc}$ .

Она находится следующим образом

$$\Delta I = I_{40} \left( 1 - \frac{90 - \Theta_{oc}}{90 - 40} \right), \quad (56)$$

где  $90=90^\circ\text{C}$  – допустимая температура шин;

$40=40^\circ\text{C}$  – стандартная температура окружающей среды.

Знаки «+» и «-» получаются самостоятельно по формуле (23), и по величине  $I'_{расч}$  уточняются размеры шины по высоте и ширине в соответствии с таблицей 15. При выборе предпочтительно выбирать шины размерами  $h > 4b$ , где  $h$  – высота шины,  $b$  – ее ширина.

При большом токе нагрузки применяют на фазу несколько полос меди, собранных в общий пакет (шинопровод). Проверку шин на динамическую термическую устойчивость производят после расчетов токов КЗ на шинах ГРЩ.

Проверку шин на возможность механического резонанса производят путем определения частоты собственных колебаний шин  $f_c$ . При этом найденное значение  $f_c$  не должно находиться в диапазонах 40–60 Гц и 90–110 Гц. В противном случае следует изменить конструктивные размеры.

Частоту собственных колебаний медных шин определяют по формуле

$$f_c = 3,62 \frac{b}{l^2} \cdot 10^5, \quad (57)$$

где  $b$  – ширина шины, см;

$l$  – расстояние между опорами, см.

Стандартные расстояния равны

$l=60$  см,

$l=80$  см,

$l=100$  см,

$l=1200$  см.

В пояснительной записке в масштабе делается рисунок шин ГРЩ с указанием всех размеров. Расстояние между осями шин или между фазами принимаются также стандартными:  $a=30, 40, 50, 60, 70$  мм.

Таблица 13

**Допустимые нагрузки на медные шины<sup>2</sup>**

И то о-	Ток ( $a$ ) при размере малой стороны шины (мм)
---------------	---

<sup>2</sup> Примечания: 1. Таблица составлена исходя из температуры окружающей среды  $45^\circ\text{C}$  и предельно допустимого превышения температуры шин  $45^\circ\text{C}$ .

2. В числителе указана допустимая нагрузка шин для постоянного тока, а в знаменателе – для переменного.

3. При применении в каждом полюсе пакета из нескольких шин нагрузки должны быть приняты с учетом коэффициентов

	1	2	3	4	5	6	8	10	12	15	20
10	80	118	150	180	205	235	–	–	–	–	–
15	118	171	214	255	290	330	395	460	–	–	–
20	157	225	281	332	337	420	500	$\frac{587}{575}$	$\frac{633}{647}$	–	–
25	194	278	348	408	260	515	$\frac{616}{610}$	$\frac{709}{697}$	$\frac{798}{782}$	932	–
30	231	333	410	485	545	$\frac{610}{603}$	$\frac{725}{713}$	$\frac{830}{815}$	$\frac{930}{900}$	$\frac{1070}{1025}$	$\frac{1310}{1250}$
40	307	439	540	635	$\frac{721}{713}$	$\frac{799}{788}$	$\frac{942}{923}$	$\frac{1070}{1040}$	$\frac{1200}{1170}$	$\frac{1380}{1325}$	$\frac{1650}{1590}$
50	382	548	675	$\frac{789}{780}$	$\frac{890}{877}$	$\frac{976}{959}$	$\frac{1155}{1125}$	$\frac{1310}{1270}$	$\frac{1465}{1400}$	$\frac{1675}{1590}$	$\frac{2000}{1890}$
60	460	630	$\frac{779}{770}$	$\frac{884}{867}$	$\frac{1020}{993}$	$\frac{1123}{1084}$	$\frac{1327}{1273}$	$\frac{1500}{1425}$	$\frac{1660}{1560}$	$\frac{1900}{1775}$	$\frac{2220}{2080}$
80	580	$\frac{827}{820}$	$\frac{1021}{1005}$	$\frac{1186}{1164}$	$\frac{1333}{1293}$	$\frac{1472}{1413}$	$\frac{1720}{1630}$	$\frac{1940}{1825}$	$\frac{2150}{1970}$	$\frac{2440}{2200}$	$\frac{2830}{2510}$
100	725	$\frac{1034}{1023}$	$\frac{1273}{1247}$	$\frac{1476}{1442}$	$\frac{1660}{1594}$	$\frac{1826}{1727}$	$\frac{2130}{2000}$	$\frac{2400}{2240}$	$\frac{2650}{2400}$	$\frac{3000}{2675}$	$\frac{3550}{3140}$

#### 4.13 Расчет и выбор кабеля

Расчету подвергаются кабельные линии, указанные в разделе III Задания, а также фидера электроприводов: рулевого, брашпиля и пожарного насоса. Для каждого из фидеров сначала определяется марка кабеля, в соответствии с табл. 14.

Таблица 14

**Технические характеристики судовых кабелей**

Марка кабеля	Характеристика	Назначение
КНР	Кабель с медными жилами, резиновой изоляцией, в резиновой маслобензостойкой оболочке, не распространяющей горения	Для неподвижной прокладки во всех помещениях судна
КНРУ	Кабель с медными жилами, резиновой изоляцией, в утолщенной резиновой маслобензостойкой оболочке, не распространяющей горения	Для неподвижной прокладки во всех помещениях судна и на открытых палубах, где возможны механические воздействия на кабель
КНРП	Кабель с медными жилами, резиновой изоляцией, в утолщенной резиновой маслобензостойкой оболочке, не распространяющей горения, и оплетке из стальных оцинкованных проволок	Для неподвижной прокладки во всех помещениях судна и на открытых палубах, где возможны механические воздействия на кабель
КНРЭ	Кабель с медными жилами, резиновой изоляцией, в оболочке из стальных оцинкованных проволок	Для неподвижной прокладки во всех помещениях судна

	ей, в утолщенной резиновой маслобензостойкой оболочке, не распространяющей горения, и оплетке из медных луженых проволок	помещениях судна и на открытых палубах, в условиях, требующих экранирования кабеля
НРИШМ	Кабель с медными жилами, резиновой изоляцией, в утолщенной резиновой маслобензостойкой оболочке, не распространяющей горения	Для прокладки к подвижным или переносным токоприемникам

После выбора марки кабеля необходимо определить сечение жилы кабеля. Оно зависит от нагрузки и способа прокладки (в пучке, в трубе), вызывающего дополнительный нагрев жилы. Поэтому сначала определяются расчетные токи, зависящие от мощности потребителей и источников, а затем эти токи корректируются в зависимости от условий прокладки и эксплуатации. Под условиями эксплуатации понимается температура окружающей среды  $\Theta_{ос}$ .

Для фидеров распределителей, имеющих активную и реактивную нагрузки, определяются активные и реактивные токи по заданным коэффициентам мощности и известным формулам:

$$I_{a1} = I_1 \cos \varphi_1; I_{p1} = I_1 \sin \varphi_1 \quad (58)$$

$$I_{a2} = I_2 \cos \varphi_2; I_{p2} = I_2 \sin \varphi_2 \quad (59)$$

$$I_{an} = I_n \cos \varphi_n; I_{pn} = I_n \sin \varphi_n \quad (60)$$

При этом

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} \quad (61)$$

Для корректировки расчетных значений токов применяется ряд поправочных коэффициентов:

–  $K_{срРЩ}$  – коэффициент совместной работы потребителя, вычисляется по формуле:

$$K_{срРЩ} = \frac{n_{потр.раб.}}{\sum n_{потр.}} \quad (62)$$

$K_1$  – коэффициент рядности прокладки кабелей,  $K_1 = (1,1 \div 1,3)$

$K_2$  – коэффициент продолжительности периода работы,  $K_2 = (0,5 \div 1)$

$K_3$  – коэффициент температуры окружающей среды,  $K_3 = (1,1 \div 1,4)$

Все расчеты по выбору кабеля сводятся в таблице 15.

Таблица 15

#### Выбор кабеля

№ фидера по функциональной схеме	Наименование фидера	Режим работы	Мощность, кВт	Расчетный ток $I_{расч}$ , А	Корректировка $I_{расч}$		Допустимый ток $I_{доп}$	Марка кабеля	Сол-во жил и их сечение
					о коэф. $K_1, K_2, K_3$ , А	о $\Theta_{ос}, I'_{расч}$ , А			
	генератор №1	лит.							
	генератор №2	лит.							
	генератор №3	лит.							

Генератор №4	лит.							
Аварийный генератор	лит.							
РЩ - АРЩ	лит.							
РЩ1	ПВ=25%							
РЩ2	кратковр. 60 мин							
РЩ3	лит.							
РЩ4	лит.							
РЩ5	лит.							
РЩ6	ПВ=40%							
РЩ7	лит.							
РЩ8	лит.							
Улевой ЭП	кратковр. 30 мин							
ЭП брашпиля	кратковр. 30 мин							
ЭП пожарного насоса	лит.							

Допустимые токи  $I_{\text{доп}}$  для данного сечения и количества жил приведены в таблице 16.

С целью упрощения монтажа кабелей для генераторов, по которым проходят большие токи, возможно применение нескольких параллельно проложенных кабелей. Например, для  $I''_{\text{расч}} = 630 \text{ А}$  рационально смонтировать 2 кабеля КНР 3×185, для которых  $I_{\text{доп}} = (2 \times 316) = 632 \text{ А}$ . Записывается это так: КНР 2 (3×185).

Таблица 16

**Допустимые нагрузки для кабелей с резиновой изоляцией**

Число жил и сечений (мм <sup>2</sup> )	Предельно допустимый ток, $a$					
	Длительная нагрузка	Кратковременная нагрузка			Повторно-кратковременная нагрузка с длительностью цикла 10 мин.	
		15 мин.	30 мин.	60 мин.	ПВ = 25%	ПВ = 40%
2×10	60	107	86	74	120	95
2×16	79	146	116	99	158	125
2×25	100	200	156	130	200	158
2×35	123	250	199	162	246	194
2×50	152	346	258	208	304	240
2×70	183	425	321	258	366	289
2×95	219	548	406	322	438	346
2×120	249	673	480	378	498	394
2×150	283	785	578	450	566	447
2×185	323	920	688	521	646	510
2×240	375	1135	852	626	750	592

3×1	14	21	18	16	28	22
3×1,5	18	27	23	20	36	28
3×2,5	24	37	31	25	48	38
3×4	32	53	43	39	64	51
3×6	40	67	55	48	80	63
3×10	55	102	81	69	110	87
3×16	70	132	104	89	140	111
3×25	95	198	151	125	190	150
3×35	118	262	194	157	236	186
3×50	146	332	256	204	292	231
3×70	178	415	318	258	356	282
3×95	214	685	412	330	428	338
3×120	245	645	446	377	490	387
3×150	281	800	586	454	562	444
3×185	316	960	687	527	632	500
3×240	372	1120	865	651	744	588

Проверка производится только для ответственных кабельных линий (генераторных, электроприводов ответственного назначения). Эти линии указаны ниже, в табл. 17.

Потерю напряжения в процентах без учета потерь в разделках и наконечниках, определяют по формуле:

$$\Delta U_{л} = \frac{\sqrt{3} I_{расч} \cdot l}{U_{н}} (R_{л} \cos \varphi + X_{л} \sin \varphi) \cdot 100, \quad (63)$$

где  $I_{расч}$  – расчетный (рабочий) ток, внесенный в табл. 15;

$l$  – длина кабеля, м;

$R_{л}$ ,  $X_{л}$  – активное и индуктивное сопротивления, приходящиеся на единицу длины кабельной линии, Ом/м;

$\cos \varphi$  – паспортный коэффициент мощности.

Данные расчетов сводятся в табл. 17.

Таблица 17

Расчет потерь напряжения

№ фидера по функц. схеме	Наименование фидера	Длина кабеля $l$ , м	Расчетный (рабочий) ток $I_{расч}$ , А	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$R_{л}$ , Ом/м	$X_{л}$ , Ом/м	$\Delta U_{л}$ , %
	Генератора № 1							
	Генератора № 2							
	Генератора № 3							
	Генератора № 4							
	Аварийный генератор							
	ГРЦ – АРЦ							
	Рулевой ЭП							
	ЭП брашпиля							
	ЭП пожарного							

насоса							
--------	--	--	--	--	--	--	--

В фидере ГРЩ-АРЩ  $\cos \varphi$  принимается паспортный для аварийного генератора;  $\sin \varphi$  вычисляется по формуле (60). Вычисленные значения  $\Delta U_{\text{л}}$  сравниваются с требованиями Правил Регистра. Для силовой сети допустимая потеря напряжения  $\Delta U_{\text{доп}}$  должна быть не более 7%. кабель выбран правильно, если

$$\Delta U_{\text{л}} \leq \Delta U_{\text{доп}} \quad (64)$$

В случае невыполнения неравенства выбирается новый кабель большего сечения токопроводящих жил.

#### 4.14 Выбор защитной и коммутационной аппаратуры

Каждый фидер системы распределения электроэнергии должен быть оборудован коммутационным аппаратом (автоматическим или пакетным выключателем) и средством защиты (автоматическим выключателем или предохранителем). Автоматический выключатель защищает фидер кабельной линии, источник или потребитель электроэнергии от перегрузок и коротких замыканий, а также от опасного снижения напряжения. Предохранитель более всего предназначен для защиты от коротких замыканий. Кроме того, автоматический выключатель с независимым расцепителем способен на дистанционное управление процессом включения и отключения электроэнергии. В большинстве автоматические выключатели обеспечивают защиту в зоне перегрузок с помощью тепловых расцепителей, в зоне коротких замыканий – с помощью электромагнитных. Те и другие относятся к максимальным расцепителям. Расцепители, реагирующие на снижение напряжения, относятся к минимальным.

Автоматические выключатели имеют разное время срабатывания в зоне КЗ. Это надо учитывать при построении защиты всей электроэнергетической системы судна.

Варианты исполнения отечественных автоматических выключателей различных серий даны в табл. 18.

Таблица 18

**Варианты исполнения автоматических выключателей (АВ)**

Серия АВ	Номинальный ток АВ, А	Дистанционный привод	Расцепители			Время срабатывания в зоне КЗ
			макс. по току	миним. по напряжению	независимый	
АС25	25	-	есть	-	-	менее 0,04с
АК50	50	-	есть	-	-	менее 0,04с
АК63ТМ	50	-	есть	-	-	0,02...0,04с
АКЗ-29ОМ4	63	-	есть	есть	-	менее 0,01с
А3100Р	100÷600	есть	есть	есть	есть	менее 0,04с
А3500	160÷600	-	есть	-	есть	0,15 или 0,33с
А3700Р	160÷630	есть	есть	нет	есть	токоограничив. – 0,04с селективные – 0,1...0,4с

AM	800÷5500	есть	есть	есть	есть	0,18...1,0с
----	----------	------	------	------	------	-------------

В таблице 18 указана только серия выключателей. Типы выключателей содержат дополнительные цифры и конкретные технические данные, которые характеризуются этими дополнительными цифрами.

Например, условное обозначение типоразмера выключателя А31⓪ⓂР расшифровывается так: А31 – серия; ⓪ – величина, указывающая на номинальный ток: 1 – I величина, 100А; 2 – II величина, 100А; 3 – III величина, 200А; 4 – IV величина, 600А; Ⓜ – число полюсов: 2 – два полюса; 3 – двухполюсной выключатель в габарите трехполюсного; 4 – три полюса; Р – регистровый (судовой) выключатель.

Выбор защитной и коммутационной аппаратуры производится, во-первых, для фидеров, указанных в табл. 15, а также для кабелей каждого из потребителей. В первом случае в качестве аппарата следует применить автоматический выключатель, во втором – пакетный выключатель и предохранитель.

Выбор выключателя начинают с номинального тока выключателя, т.е. тока, который способен пропускать главные контакты. Выбор предохранителя начинают с тока патрона, т.е. такого тока, который не вызывает разрушения патрона при сгорании плавкой вставки на максимальный ток для данного патрона. При этом соблюдается неравенство

$$\left. \begin{aligned} I_{\text{выкл}} &> I_{\text{расч}} \\ I_{\text{патр}} &> I_{\text{расч}} \end{aligned} \right\} \quad (65)$$

где  $I_{\text{выкл}}$  – ток главных контактов выключателя;

$I_{\text{патр}}$  – максимальный ток патрона;

$I_{\text{расч}}$  – расчетный ток фидера, определяемый мощностью подключаемых к нему потребителей.

Наиболее универсальным автоматическим выключателем является выключатель с комбинированным расцепителем, реагирующим как на токи перегрузки, так и на токи КЗ. Комбинированный расцепитель является максимальным расцепителем по току (см. табл. 18). В качестве расцепителя в зоне перегрузок применяют тепловые или электромагнитные расцепители с заземлением.

После выбора серии и типоразмера автоматического выключателя по таблицам технических данных подбирают номинальный ток расцепителя в зоне перегрузок  $I_{\text{нр.гр.}}$ . Для фидеров табл. 15

$$I_{\text{нр.гр.}} \geq I_{\text{расч}} \quad (66)$$

После выбора пакетных выключателей и патронов предохранителей выбирают плавкие вставки

$$I_{\text{пл.вст}} \geq \frac{K_3 \cdot P_{\text{ну}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_c \cdot \cos \varphi} \quad (67)$$

где  $K_3$  – коэффициент загрузки; принимаем  $K_3 = 0,7 \dots 0,9$ ;

$P_{\text{ну}}$  – номинальная установленная мощность одного потребителя, кВт;

$U_c$  – линейное напряжение сети, В.

При выборе плавкой вставки учитывают, чтобы ее номинальный ток был меньше или равен номинальному току патрона, т.е.

$$I_{\text{пл.вст}} \leq I_{\text{патр}} \quad (68)$$

Вызывает затруднения расчет и выбор номинала расцепителя АВ в зоне КЗ  $I_{\text{нр.кз}}$ . Для отечественных АВ

$$I_{\text{нр.кз}} = (3 \dots 14) \cdot I_{\text{нр.гр}} = K_{\text{тр}} \cdot I_{\text{нр.гр}} \quad (69)$$

где  $I_{\text{нр.гр}}$  – номинал расцепителя в зоне перегрузок, А;

$K_{\text{тр}} = 3 \dots 14$  – коэффициент трогания в зоне КЗ.

Так как  $I_{\text{нр.гр}}$  уже найдена, то коэффициент трогания

$$K_{\text{тр}} = \frac{I_{\text{нр.кз}}}{I_{\text{нр.гр}}} \quad (70)$$

Для одиночных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором мощностью до 8 кВт

$$I_{\text{нр.кз}} = (1,1 \dots 1,2) I_{\text{п}} \quad (71)$$

где  $I_{\text{п}}$  – пусковой ток двигателя.

Для одиночных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором мощностью от 8 до 160 кВт

$$I_{\text{нр.кз}} = (1,2 \dots 1,6) I_{\text{п}} \quad (72)$$

Для группы электродвигателей разной мощности (например, для фидеров РЩ3 и РЩ4) применяют следующую формулу

$$I_{\text{нр.кз}} = (1,5 \dots 1,8) \cdot [K_{\text{ср}} \sum_{i=1}^n I_{\text{ни}} + (I'_{\text{п}} - I'_{\text{н}})] \quad (73)$$

где  $\sum_{i=1}^n I_{\text{ни}}$  – сумма номинальных токов одновременно работающих двигателей;

$K_{\text{ср}}$  – коэффициент совместной работы;

$(I'_{\text{п}} - I'_{\text{н}})$  – разность между пусковым и номинальным токами для двигателя с наибольшей мощностью.

Для фидеров со смешанной нагрузкой (например, нагревательные приборы и электродвигатели) коэффициент трогания  $K_{\text{тр}}$  можно вычислить по следующей формуле

$$K_{\text{тр}} = \frac{K_{\text{д}} \cdot K_{\text{а}} \cdot K_{\text{п.ср}} \cdot I_{\text{расч}}}{I_{\text{нр.гр}}} \quad (74)$$

где  $K_{\text{д}}$  – коэффициент, учитывающий допуски на пусковой ток и ток срабатывания выключателя в зоне КЗ;  $K_{\text{д}} = 1,1 \dots 1,4$ ;

$K_{\text{а}}$  – коэффициент апериодической составляющей пускового тока;  $K_{\text{а}} = 1,3$ ;

$K_{\text{п.ср}}$  – средняя кратность пускового тока;

$I_{\text{расч}}$  – расчетный ток в соответствии с табл. 15.

Выбор автоматического выключателя, срабатывающего в зоне КЗ, осуществляют по результатам расчета и справочным таблицам.

Уставка тока срабатывания при КЗ должна быть больше значения  $I_{\text{пр.кз}}$ , т.е.  $I_{\text{уст.кз}} \geq K_{\text{тр}} \cdot I_{\text{нр.гр}} = I_{\text{нр.кз}} \cdot I_{\text{уст.кз}}$  дается в технических характеристиках АВ. Например, для автоматического выключателя серии АЗ100Р  $I_{\text{уст.кз}} = 10 \cdot I_{\text{нр.гр}}$ .

Секционные выключатели, соединяющий шины генераторных секций ГРЩ, выбираются по номинальному току генераторов. Эта же рекомендация относится и к автоматическим выключателям фидеров, соединяющих обмотки трансформаторов с шинами ГРЩ.

Перегрузка фидеров, соединяющих ГРЩ с РЩ (РЩ1...РЩ8), маловероятна. Поэтому для защиты этих кабельных линий должны применяться АВ с расцепителями только в зоне коротких замыканий.

Селективность защиты в режиме КЗ обеспечивается не только временем срабатывания, когда

$$\Delta t_{1кз} > \Delta t_{2кз} > \Delta t_{3кз} \quad (75)$$

но и токами срабатывания. Поэтому ток расцепителя в зоне КЗ должен быть больше у генераторов, и постепенно уменьшаться, приближаясь к потребителю, т.е.

$$I_{1уст.кз} > I_{2уст.кз} > I_{кз} > I_{3уст.кз} \quad (76)$$

где  $\Delta t_{1кз}$  – время срабатывания в зоне КЗ (см. табл.11);

$I_{уст.кз}$  – уставка тока срабатывания при КЗ уже выбранного АВ;

$I_{кз}$  – расчетный ток короткого замыкания.

Результаты расчетов и выбора защитной и коммутационной аппаратуры заносятся в таблицу 19.

Таблица 19

**Выбор защитной и коммутационной аппаратуры**

№ фидера	Наименование фидера	Расчетный ток, А	Тип АВпредохранителя	Номинальный ток АВ, патрона, А	Номинальный ток расцепителя в зоне перегр. $I_{пр.гр}$ , $I_{пл.вст}$	Уставка расцепителя в зоне КЗ, $I_{уст.кз}$	Допустимый ударный ток КЗ, $i_{уд.кз}$ , А	Допустимый действительный ток $I_{доп}$ , А	Термическая стойкость $I^2 \cdot t_{доп}$ , $A^2 \cdot c \cdot 10^6$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	генератор №1								
	генератор №2								
	генератор №3								
	генератор №4								
	Секционные выключатели								
	Аварийный генератор								
	ГРЩ – АРЩ								
	трансформатор №1								
	РЩ1								
	РЩ2								
	РЩ3								
	РЩ4								

Щ5									
Щ6									

Окончание таблицы 19

Щ7									
Щ8									
Улевой электропривод									
Электропривод брашпиля									
Электропривод пожарных насосов									
Освещение в аварийном режиме									
Грожекторы									
Радиооборудование									
Электронавигационные приборы									
Лифт камбуза									
Форсунка котла									
Вентиляторы МО									
Камбузная плита									
Освещение люминесцентными лампами									

Проверка выбранной аппаратуры на разрывную (предельную коммутационную) способность, на динамическую и термическую стойкость производится после расчета токов короткого замыкания. Для этого сравниваются допустимые значения ударного тока  $i_{уд, доп}$ , действующего тока  $I_{доп}$  и термической стойкости  $I^2 \cdot t_{доп}$  с расчетными значениями токов КЗ. В случае невыполнения условий автоматические выключатели и предохранители меняются на новые повышенной разрывной способности, динамической и термической стойкости.

#### 4.15. Расчет токов короткого замыкания

Основным видом короткого замыкания в судовых электрических сетях является трехфазное короткое замыкание. Расчет коротких замыканий СЭЭС сводится главным образом к определению максимальных значений тока при коротких замыканиях в различных точках сети. Это даёт возможность провести правильный выбор аппаратов, проверить динамическую устойчивость шин, правильно построить защиту электроэнергетической системы и т.п. Особую опасность представляет начальный момент короткого замыкания. Дело в том, что внутреннее реактивное сопротивление генераторов является переменной величиной: в первый момент короткого замыкания (сверхпереходной режим) оно маленькое ( $x_d''$ ), в дальнейшем происходит его увеличение ( $x_d'$ , переходной режим), и в конце переходного процесса реактивное сопротивление достигает своего максимального значения ( $x_d$ ), наступает установившийся режим. Практически в сверхпереходном и переходном режимах ЭДС генератора не изменяется, поэтому под действием этой ЭДС. в первый момент к.з. возникают большие (переменные синусоидальные) токи, которые с течением времени уменьшаются по амплитуде и в конце переход-

ного процесса становятся сравнительно небольшими (наступил установившийся режим), этот ток называют периодической составляющей тока к.з.

Кроме периодической составляющей тока к.з. в генераторе возникает так называемая аperiodическая составляющая тока к.з., которая в первый момент равна амплитуде тока периодической и с течением времени затухает, изменяясь по экспоненциальному закону.

Таким образом, ток в сети за счёт генератора представляет собой сумму двух составляющих: периодической (принуждённой) и аperiodической.

Процесс изменения тока генератора показан на рис.1.

Как видно из рисунка 1, через промежуток времени, соответствующий половине периода периодической составляющей (через 0,01 сек. при частоте 50 Гц) достигает своего максимального значения ( $I_{уд.}$ , ударный ток) и определяется как сумма амплитуды периодической составляющей  $I_{пт}$  в начальный момент времени и величины аperiodической составляющей при  $t=0,01$  сек.

Величина ударного тока при коротких замыканиях на зажимах генераторов и шинах ГРЩ может достигать значений (1,8 – 1,9)  $I_{пт}$  и, как следствие, может привести к механическим повреждениям электрооборудования в результате возникновения электродинамических сил, действующих на проводники.

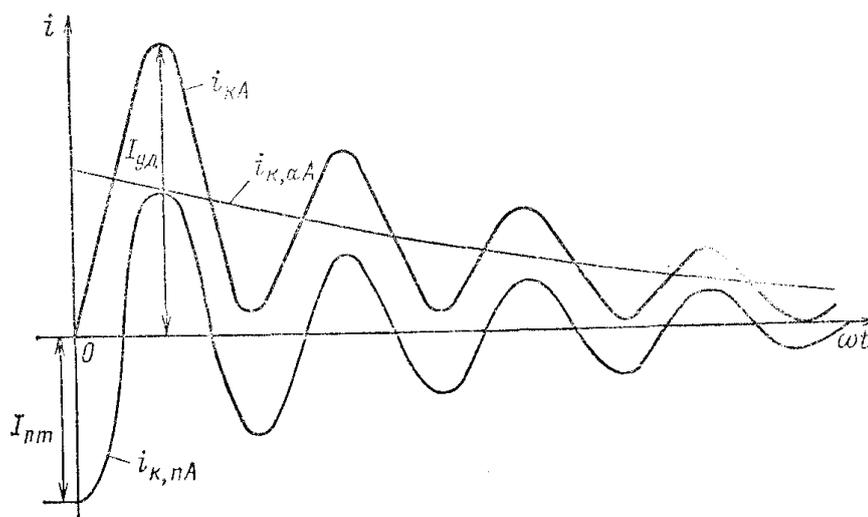


Рис.1 График изменения тока в генераторе:

$i_{к,пА}$  – периодическая составляющая тока к.з.;

$i_{к,аА}$  – аperiodическая составляющая тока к.з.;

$i_{кА}$  – результирующий ток к.з.;

$I_{пт}$  – амплитуда периодической составляющей тока к.з. при  $t=0$

$I_{уд}$  – ударный ток к.з.

стики  
си-  
цах,  
чѐты  
ны-  
также

ность лучше сравнивать и контролировать полученные результаты.

Характери-  
задаются в отно-  
тельных едини-  
Это делает рас-  
более нагляд-  
ми, простыми, а  
даѐт возмож-

Чтобы выразить отдельные величины в относительных единицах, необходимо, прежде всего, выбрать так называемые базисные единицы или базисные условия, к которым приводятся все расчётные величины.

Так для каждой электрической машины указаны сопротивления в относительных единицах относительно номинальных значений её параметров ( $S_H$ ,  $P_H$ ,  $U_H$ ), которые указаны в паспортных данных. Такие номинальные данные как  $I_H$  и  $Z_H$  (номинальное полное сопротивление одной фазы машины) можно определить по формулам

$$I_H = \frac{S_H}{\sqrt{3}U_H} \quad (77)$$

$$Z_H = \frac{U_H}{\sqrt{3}I_H} \quad (78)$$

тогда номинальные относительные активные и реактивные сопротивления определяются по формулам

$$r_{*H} = \frac{r}{Z_H} \quad (79)$$

$$x_{*H} = x \frac{S_H}{U_H^2} \quad (80)$$

Значок \* означает, что данная величина выражена в относительных единицах, а индекс H указывает, что данная величина выражена относительно номинальных данных машины.

В электрических цепях могут встречаться электрооборудование с различными номинальными данными мощностей  $S_H$  и напряжений  $U_H$ , и, хотя номинальные относительные сопротивления у них могут быть одинаковыми, абсолютные значения их будут разными.

Это можно сравнить с реалиями наших экономических отношений между разными государствами (разными машинами) с разными валютами (номинальными данными): в США – это доллары, в России – рубли, в Европе – евро, в Китае – юани и т.д. Допустим мы купили один товар за 100 долларов, другой – за 100 рублей, третий – 100 евро. Как мы поступим для определения общей стоимости товара? Не будем же мы складывать рубли с долларами и евро. А что же делаем? Сначала принимаем решение в какой валюте будем определять стоимость (принимаем базу отсчёта, например, евро), затем все остальные валюты переводим в евро. И только тогда уже можно будет определять общую стоимость товара путем сложения одинаковых единиц измерения. Можно было бы за базу отсчёта принять любую единицу измерения, а затем другие переводить (приводить) к базовой.

Так как для каждого электрооборудования в справочных данных указаны параметры в относительных единицах относительно своих номинальных данных, то, чтобы производить математические операции с этими параметрами, необходимо параметры каждого оборудования привести к единым для всех базисным величинам.

В большинстве случаев задаются базисной мощностью  $S_6$  и базисным линейным напряжением  $U_6$ .

Тогда базисный ток определяется по формуле

$$I_6 = \frac{I_6}{\sqrt{3}U_6} \quad (81)$$

а базисное сопротивление (одной фазы) – по формуле

$$Z_6 = \frac{U_6}{\sqrt{3}I_6} \quad (82)$$

Активные и реактивные сопротивления генераторов, приведённые к базисным величинам, будут определяться по формулам

$$r_{*6} = r_{*н} \frac{S_6}{S_н} \quad (83)$$

$$x_{*6} = x_{*н} \frac{S_6}{S_н} \quad (84)$$

где  $r_{*6}$  – активное сопротивление генератора, приведённое к базисным условиям, в относительных единицах;

$r_{*н}$  – активное сопротивление генератора, приведённое к номинальным условиям, в относительных единицах (указывается в паспортных данных генератора);

$x_{*н}$  – реактивное сопротивление генератора, приведённое к номинальным условиям, в относительных единицах (указывается в паспортных данных генератора,  $x''d$ );

$x_{*6}$  – реактивное сопротивление генератора, приведённое к базисным условиям, в относительных единицах;

$S_н$  – номинальная полная мощность генератора, ВА;

$S_6$  – базисная полная мощность, ВА.

За базисную мощность можно рекомендовать либо мощность самого мощного генератора либо сумму мощностей всех установленных генераторов (в принципе можно любую, взятую с «потолка»).

За базисное напряжение рекомендуется взять номинальное напряжение генераторов.

Сопротивления кабелей ( $r_k$  и  $x_k$ , в Омах) определяются по таблице 16, а приводятся к базисным условиям ( $r_{*k}$  и  $x_{*k}$ , в относительных единицах) по формулам:

$$r_{*k} = r_k / Z_6 \quad (85)$$

$$x_{*k} = x_k / Z_6 \quad (86)$$

**Влияние асинхронных двигателей на ток короткого замыкания.** В нормальном режиме асинхронные двигатели вращаются со скоростью, близкой к синхронной, при весьма малом скольжении, равном 3 – 5%, поэтому можно считать, что величина противоЭДС вращающегося двигателя близка к напряжению сети. Во время короткого замыкания все работающие двигатели переходят в генераторный режим и посылают в точку короткого замыкания дополнительный ток (ток подпитки двигателей). Из-за большого активного сопротивления обмоток статора и ротора по сравнению с реактивным ток подпитки быстро затухает. Поэтому ток подпитки двигателей учитывают только при определении ударного тока к.з. При этом ударный (максимальное значение) тока подпитки двигателей определяется по формуле

$$I_{уд\ эд} = 7,8 I_{н\ эд} \quad (87)$$

где  $I_{уд\ эд}$  – ударный ток эквивалентного двигателя, А;

$I_{н\ эд}$  – номинальный ток эквивалентного двигателя, А.

Под эквивалентным двигателем условно подразумевается двигатель, мощность которого равна мощности всех работающих двигателей, и для практических расчётов определяется формулой

$$S_{эд} = 0,75S_{\Sigma} \quad (88)$$

где  $S_{эд}$  – мощность эквивалентного двигателя, ВА;

$S_{\Sigma}$  – суммарная мощность всех генераторов электростанции, ВА.

Тогда номинальный ток эквивалентного двигателя определяется по формуле

$$I_{нэд} = \frac{S_{эд}}{\sqrt{3}U_n} \quad (89)$$

**Перед расчетом** должна быть разработана функциональная схема СЭЭС и выбраны все защитные и коммутационные аппараты в соответствии с табл. 20. Количество точек указывается руководителем курсового проекта, и они выбираются таким образом, чтобы проверяемый аппарат оказался в наиболее тяжелых условиях КЗ.

После обозначения точек КЗ в пояснительной записке изображается исходная расчетная схема для определения токов КЗ. На схеме обязательно указываются мощности генераторов, коммутационные и защитные аппараты, длины и сечения кабелей. Номера аппаратов должны соответствовать функциональной схеме. Далее в пояснительной записке изображается схема замещения, на которой обозначаются активные и реактивные сопротивления всех элементов схемы. Под ними понимаются генераторы, кабельные линии, шины ГРЩ или АРЩ, автоматические выключатели, контактные (клеммные) соединения.

Таблица 20

**Индуктивное и активное сопротивление кабелей  
при температуре 65°C, ом /км**

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Частота тока 50 Гц		Частота тока 400 Гц		Примечания
	Индуктивное сопротивление $x$	Активное сопротивление $r$	Индуктивное сопротивление $x$	Активное сопротивление $r$	
0,75	–	28,8	–	28,8	1. Пересчет активных сопротивлений на другие температуры нагрева следует производить по формуле $r_t = r_{65}[1 + 0,004(t - 65)]$ . 2. Сопротивление кабеля длиной $l$ , $m$ , определяется по формулам: $r = \frac{r_{табл}l}{1000}$ ; $x = \frac{x_{табл}l}{1000}$ . При прокладке $n$ кабелей параллельно:
1	0,118	21,6	0,94	21,6	
1,5	0,110	14,4	0,89	14,4	
2,5	0,108	8,65	0,86	8,65	
4	0,101	5,4	0,81	5,4	
6	0,095	3,6	0,76	3,6	
10	0,092	2,16	0,74	2,16	
16	0,087	1,35	0,70	1,35	
25	0,085	0,865	0,68	0,874	
35	0,082	0,617	0,65	0,629	
50	0,078	0,432	0,62	0,449	

70	0,076	0,309	0,60	0,337	$r = \frac{r_{\text{табл}}l}{1000n}; x = \frac{x_{\text{табл}}l}{1000n}$ где $r_{\text{табл}}, x_{\text{табл}}$ – сопротивления, принятые по данной таблице.
95	0,075	0,227	0,60	0,263	
120	0,073	0,18	0,59	0,225	
150	0,073	0,144	0,59	0,193	
185	0,073	0,118	0,59	0,169	
240	0,073	0,092	0,58	0,146	

Далее схема замещения преобразуется для каждой точки короткого замыкания как показано на рис. 4. Получается однолинейная схема со всеми сопротивлениями от источника до точки К1. На ней выписываются все величины активных и индуктивных сопротивлений, которые в дальнейшем преобразуются в результирующие активные  $r_p$  и индуктивные  $x_p$ . Однолинейная схема преобразуется в упрощенную эквивалентную схему замещения согласно рис. 5. Покажем это на примере с одним генератором.

Вначале изображаем исходную расчетную схему (рис.2).

На основании исходной схемы вычерчивается схема замещения, на которой с учетом вышеприведенных рекомендаций показываются все активные и индуктивные сопротивления (рис.3). В описании рисунка указаны сопротивления до точки К1 и кабеля длиной  $l_3$ . Остальные аналогичны указанным.

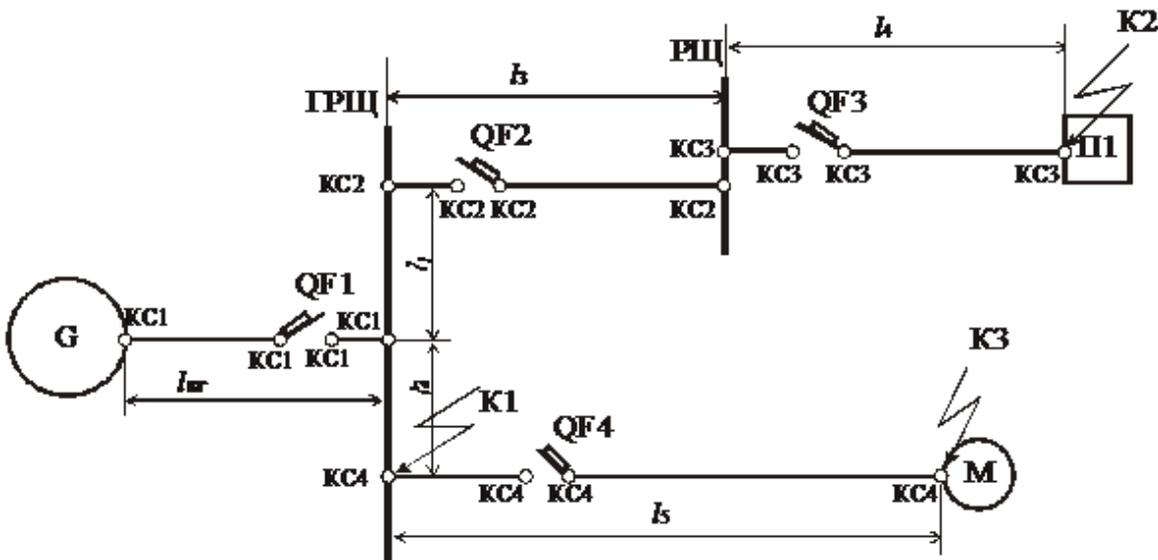


Рис. 2. Исходная схема для расчета токов К3:

КС – контактные (клеммные) соединения;  $l_{кр}$  – длина кабеля генератора;  $l_1, l_2$  – длины шин ГРЩ;  $l_3, l_4, l_5$  – длины кабелей; К1, К2, К3 – точки КЗ

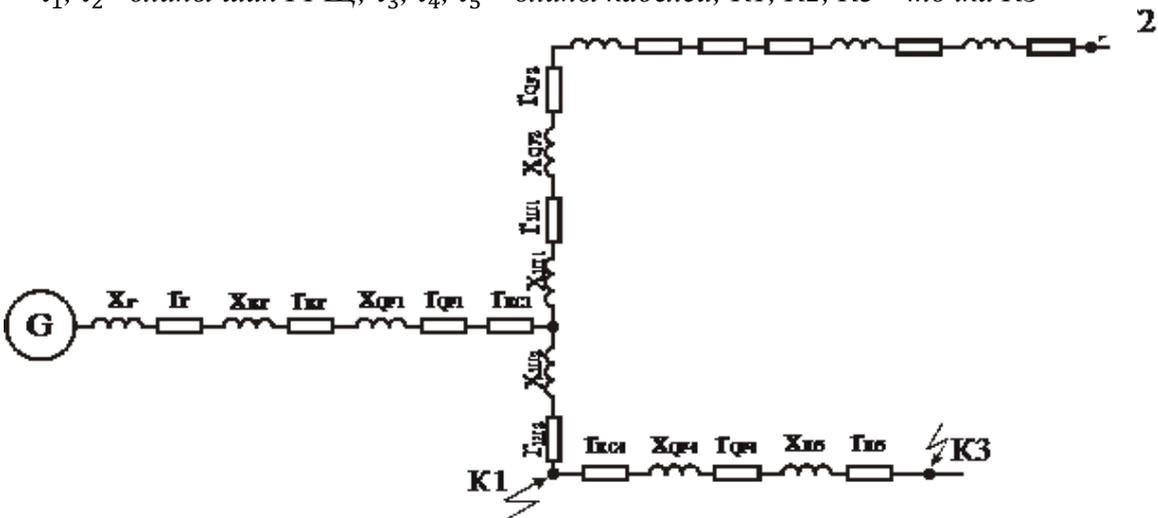


Схема замещения для точки **K1** будет выглядеть так, как показано



Рис. 4. Схема замещения для точки K1

Под этой схемой выписываются все численные значения сопротивлений в относительных единицах:

$X_{Г-}$	$r_{кГ-}$	$4r_{кC1-}$
$r_{Г-}$	$X_{QF1-}$	$X_{ш2-}$
$X_{кГ-}$	$r_{QF1-}$	$r_{ш2-}$

На основании выписанных значений определяются результирующие активные  $r_p$  и индуктивные  $x_p$  сопротивления путем суммирования тех и других, т.е.  $r_p = r_{Г} + r_{кГ} + 4r_{кC1} + r_{ш2} + r_{QF1}$ ;  $x_p = x_{Г} + x_{кГ} + x_{QF1} + x_{ш2}$ .

Графически это будет выглядеть следующим образом (рис.5):

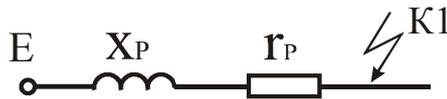


Рис. 5. Упрощенная эквивалентная схема замещения

Результирующие сопротивления используются для определения полного результирующего сопротивления

$$Z_p = \sqrt{r_p^2 + x_p^2} \quad (90)$$

Последнее необходимо для нахождения действующего значения периодической составляющей тока КЗ.

#### Общая схема замещения

Используя значение  $Z_p$ , с помощью так называемых расчетных кривых определяют токи короткого замыкания.

Например, для нахождения результирующего сопротивления при к.з. в точке К4 необходимо сложить в каждой генераторной ветви активные и реактивные сопротивления (по отдельности), затем найти эквивалентное сопротивление трёх параллельных ветвей.

Достаточно простым и удобным для практики методом расчётов токов к.з. в электроэнергетических системах переменного тока является метод расчётных кривых.

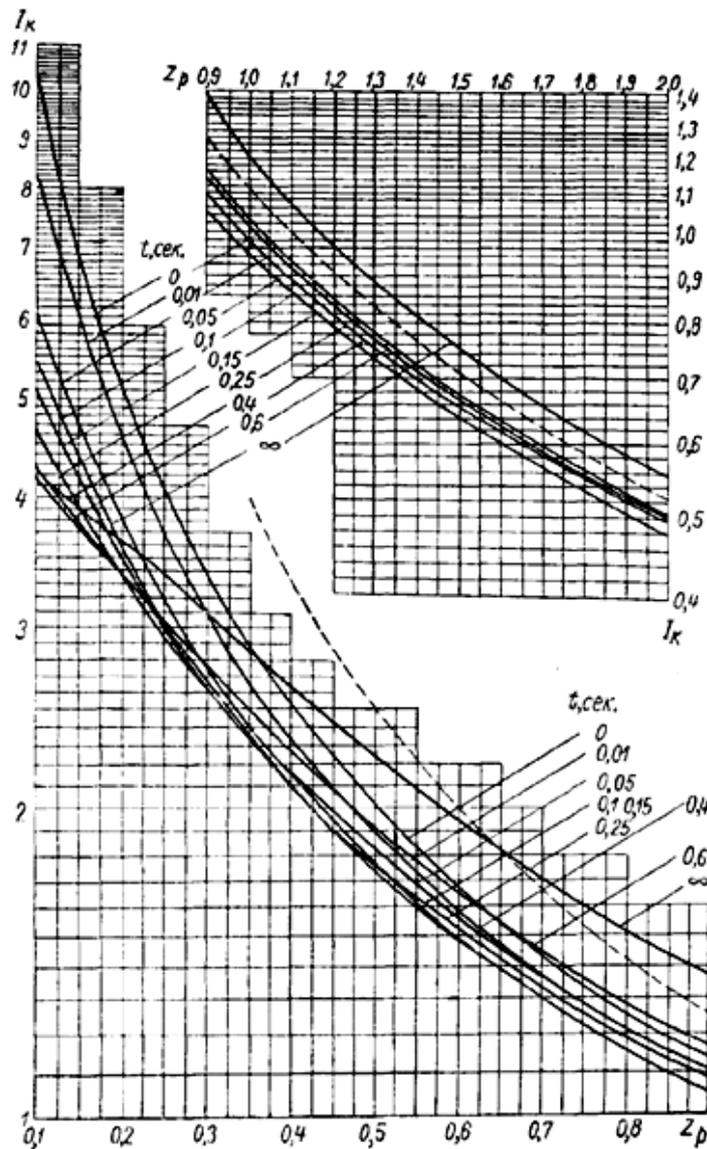


Рис.6 Расчётные кривые тока короткого замыкания (в относительных единицах)

Расчётные кривые представляют собой в относительных единицах (рис.6) зависимость действующего значения периодической составляющей тока к.з.  $I_k$  (в различные моменты времени от начала к.з.) от величины результирующего сопротивления  $Z_p$  до расчётной точки к.з.

Кривые построены для различных моментов времени после начала к.з., а именно: для  $t$ , равного 0; 0,01; 0,05; 0,1; 0,15; 0,25; 0,4; 0,6 сек. и  $t = \infty$ .

Предельным значением сопротивления к.з. принято  $Z_p = 2,0$  так как при  $Z_p > 2$  периодическая составляющая тока к.з. изменяется незначительно и можно считать, что её начальное значение остаётся неизменным в течение всего процесса короткого замыкания. Характерной особенностью расчётных кривых генераторов с автоматическим регулятором напряжения является взаимное пересечение кривых, так как при наличии автоматического регулятора и достаточной удалённости

точки короткого замыкания ток к.з. после некоторого снижения вновь возрастает (во времени).

Соответственно каждому значению результирующего сопротивления  $Z_p$  по расчётным кривым находят действующие значения периодической составляющей тока к.з. при всех необходимых моментах времени после начала короткого замыкания:  $I_0; I_{0,01}; I_{0,05}; \dots; I_\infty$ .

Как видно из рис.1 ударный ток складывается из двух составляющих в момент времени  $t = 0,01$ сек: амплитуды периодической составляющей тока к.з.  $I_{nm}$  и аperiodической составляющей. С учётом вышесказанного ударный ток генератора  $I_{уд.г*}$  в относительных единицах определяется по формуле

$$I_{уд.г*} = \sqrt{2} \cdot I_{0,01*} \cdot P \quad (91)$$

где  $I_{0,01*}$  – действующее значение в относительных единицах периодической составляющей тока к.з. в момент времени  $t = 0,01$ сек., определяется по расчётным кривым;

$\sqrt{2}$  – коэффициент для перехода от действующего значения тока к амплитуде;  
 $P$  – ударный коэффициент.

Ударный коэффициент  $P$  учитывает увеличение ударного тока генератора за счёт добавления аperiodической составляющей тока к.з., зависит от отношения  $x_p/r_p$  и определяется по кривым на рис.7.

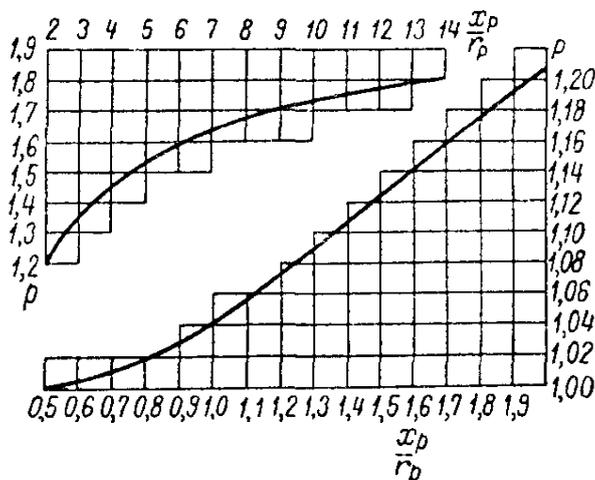


Рис. 7. Зависимость ударного коэффициента  $P$  от  $x_p/r_p$

Для нахождения ударного тока генератора в абсолютных единицах (Амперах) необходимо ток в относительных единицах умножить на базисный ток (в Амперах):

$$I_{уд.г} = I_{уд.г*} \cdot I_б \quad (92)$$

С учётом ударного тока от эквивалентного электродвигателя полный ударный ток в точке короткого замыкания (в Амперах) определяется по формуле

$$I_{уд} = I_{уд.г} + I_{уд.эд} \quad (93)$$

Заметим, что приведенные расчеты являются несколько трудоемкими, и они оправдывают себя только для удаленных точек (см. точку К2 на рис.3). Здесь нужен точный расчет для того, чтобы сделать вывод о возможности срабатывания защиты при коротком замыкании в точке К2. Такой вывод делается на основании формулы

$$I_{кз} > k_{зап} \cdot I_{уст.КЗ} \quad (94)$$

где  $I_{кз}$  – наибольшее воздействующее значение полного тока КЗ;

$k_{зап}$  – коэффициент запаса на разброс характеристик;

для АВ с  $I_{н.АВ} \leq 50А$   $k_{зап} = 1,3 \dots 1,4$ ;

$I_{уст.КЗ}$  – уставка расцепителя в зоне КЗ.

Так как автоматические выключатели уже выбраны и  $I_{уст.КЗ}$  уже известно, то проверяется чувствительность выбранного выключателя к срабатыванию в режиме КЗ. Кроме того, подтверждает селективность защиты, установленной неравенством. В случае невыполнения условия принимаются меры к замене кабеля данного участка на кабель с большим сечением жил или выбирается АВ с меньшей уставкой расцепителя в зоне КЗ.

С целью облегчения расчетов в соответствии с рекомендациями Г.С. Яковлева сопротивления автоматических выключателей, контактных соединений и шин ГРЩ на участке генератор – ГРЩ принимаются равными сопротивлениям кабеля. Сопротивления же этих элементов на других участках не учитываются (кроме участка с самой удаленной точкой КЗ). Тогда схема замещения и расчеты значительно упрощаются. В примере приведены генераторы равной мощности, а генераторные кабели – равного сечения и длины. В этом случае в соответствии с законами электротехники все сопротивления уменьшаются в два раза, и вычисление общего полного сопротивления становится проще.

В случае использования в параллельной работе генераторов разной мощности для определения эквивалентного сопротивления двух параллельных генераторных цепей необходимо воспользоваться комплексной формой их выражения.

Для цепи 1-го генератора:

$$\dot{Z}_1 = r_1 + jx_1 \quad (95)$$

Для цепи 2-го генератора:

$$\dot{Z}_2 = r_2 + jx_2 \quad (96)$$

где  $j = \sqrt{-1}$  – составляющая мнимой части комплексного числа.

В этом случае вектор общего сопротивления будет определен как

$$\dot{Z}_{общ} = \frac{\dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} = \frac{r_1 \cdot r_2 + j \cdot r_1 \cdot x_2 + j \cdot r_2 \cdot x_1 - x_1 \cdot x_2}{(r_1 + r_2) + j(x_1 + x_2)} \quad (97)$$

Для освобождения от комплексного числа в знаменателе умножим выражение (63) на сопряженный комплекс:

$$\dot{Z}_{общ} = \frac{[r_1 \cdot r_2 + j \cdot r_1 \cdot x_2 + j \cdot r_2 \cdot x_1 - x_1 \cdot x_2] \cdot [(r_1 + r_2) - j(x_1 + x_2)]}{[(r_1 + r_2) + j(x_1 + x_2)] \cdot [(r_1 + r_2) - j(x_1 + x_2)]} \quad (98)$$

После вычислений численных величин получим

$$\dot{Z}_{общ} = r_3 + jx_3 \quad (99)$$

Полное результирующее сопротивление

$$Z_{\text{общ}} = \sqrt{r_3^2 + x_3^2} \quad (100)$$

Результирующие сопротивления  $r_3$  и  $x_3$  изображаются схемой, подобной рис.5.

Таким образом, расчёт токов к.з. в СЭЭС переменного тока с использованием расчётных кривых выполняют в следующем порядке:

1. составляют расчётную схему, содержащую номинальные параметры всех входящих в неё элементов, а также предполагаемые для расчёта точки короткого замыкания;

2. составляют схему замещения, содержащую сопротивления всех входящих в неё элементов;

3. задаются базисной мощностью и напряжением, вычисляют базисный ток и базисное сопротивление, все сопротивления выражают в относительных единицах по отношению к принятым базисным условиям;

4. определяют результирующее сопротивление  $Z_p$  на пути прохождения тока к.з. от генератора (генераторов) до рассматриваемой точки к.з.; при этом сопротивления генераторов вместе с кабелями до ГРЩ считают как параллельно включёнными, а все остальные – последовательно;

5. с помощью расчётных кривых определяют действующие значения периодической составляющей тока к.з. для всех моментов времени от  $t = 0$  до  $t = \infty$ ;

6. находят ударный коэффициент  $P$  и затем ударный ток к.з., посылаемый генераторами  $I_{\text{уд.г}}$  в относительных единицах;

7. определяют ударный ток генератора в абсолютных единицах (Амперах)  $I_{\text{уд.г}}$ ;

8. определяют ударный ток от эквивалентного двигателя в абсолютных единицах (Амперах)  $I_{\text{уд.эд}}$ ;

9. определяют результирующий ударный ток в точке к.з. по формуле:  $I_{\text{уд}} = I_{\text{уд.г}} + I_{\text{уд.эд}}$

Полученный в результате расчёта ударный ток сравнивают с допустимым для данного аппарата и делают вывод о его электродинамической устойчивости.

**Расчет токов КЗ.** Исходными данными для расчетов токов для каждой заданной точки КЗ являются полные результирующие сопротивления  $Z_p$ , которые находятся по формуле. Эти величины используются для определения действующих значений периодической составляющей тока КЗ в разные моменты времени с помощью расчетных кривых, изображенных на рис.6. В дальнейшем действующие значения применяются для вычисления амплитудных значений токов КЗ, апериодической составляющей и значений ударного тока. При этом учитывается также ток подпитки от асинхронных двигателей. Конечной целью всех вычислений являются расчетные значения ударного тока  $I_{\text{уд}}$ , наибольшее действующее значение полного тока короткого замыкания  $I_{\text{кз}}$  и установившееся действующее значение тока КЗ  $I_{\infty}$ . По ним проверяется разрывная способность, динамическая и

термическая стойкость шин ГРЩ, автоматических выключателей и предохранителей.

Результаты всех вычислений сводятся в табл.21.

Таблица 21

**Расчет токов короткого замыкания**

Гочка КЗ	k <sub>р</sub> , о.е.	r <sub>р</sub> , о.е.	Z <sub>р</sub> , о.е.	Токи КЗ, о.е.			Токи КЗ, А		
				I <sub>0</sub> <sup>*</sup>	I <sub>0,01</sub> <sup>*</sup>	I <sub>∞</sub> <sup>*</sup>	уд	I <sub>кз</sub>	I <sub>∞</sub>

При коротком замыкании в сети 220В необходимо учитывать сопротивления трансформаторов, которые затем включаются в схему замещения. Прежде всего, определяется полное сопротивление трансформатора в относительных единицах

$$Z_{тр} = \frac{U_{кз}}{100} \quad (101)$$

где  $U_{кз}$  – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Активное сопротивление  $r_{тр}$  находится с учетом потерь в меди в режиме короткого замыкания. Сначала определяют активную составляющую напряжения короткого замыкания,

$$U_{ка} = \frac{I_{1н} \cdot r_k}{U_{1н}} \cdot 100 = \frac{I_{1н} \cdot r_k \cdot I_{1н}}{U_{1н} \cdot I_{1н}} \cdot 100 = \frac{P_k}{S_{1н}}, \% \quad (102)$$

где  $P_k$  – потери в меди при КЗ, Вт;

$r_k$  – активное сопротивление обмотки, Ом;

$I_{1н}$  – ток первой обмотки трансформатора, А.

$$I_{1н} = \frac{S_{тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{1н}} \quad (103)$$

где  $S_{тр}$  – мощность трансформатора, ВА;

$U_{1н}$  – напряжение первичной обмотки, В.

После определения  $U_{ка}$  из формулы (68) находят  $r_k$

$$r_k = \frac{U_{ка} \cdot U_{1н}}{I_{1н} \cdot 100}, \text{ Ом} \quad (104)$$

Сопротивление в именованной величине переводят в относительную величину:

$$r_{тр} = \frac{r_k \cdot S_{тр}}{U_{1н}^2} \quad (105)$$

На основании численных величин, определенных по формулам выше находят реактивное сопротивление в относительных единицах:

$$x_{тр} = \sqrt{Z_{тр}^2 - r_{тр}^2} \quad (106)$$

И окончательно приводят их к базисным величинам:

$$r_{б} = r_{тр} \cdot \frac{S_{б}}{S_{тр}} \quad (107)$$

$$x_{б} = x_{тр} \cdot \frac{S_{б}}{S_{тр}} \quad (108)$$

Мощность трансформаторов обычно во много раз меньше мощности электростанции. Поэтому приведенные к базисным условиям сопротивления трансформатора во много раз больше сопротивления генераторов, т.е. трансформатор оказывает значительное ограничивающее влияние на ток КЗ. Расчет токов КЗ при этом можно производить, вводя в расчетную схему только сопротивления самого трансформатора и кабеля, отходящего от него к точке КЗ. Значение ударного коэффициента принимают равным единице.

**Проверка элементов СЭС на разрывную способность, электродинамическую и термическую стойкость.** При проверке сравниваются расчетные значения ударного тока  $I_{уд}$ , наибольшее действующее значение полного тока  $I_{кз}$  и установившееся значение тока КЗ  $I_{\infty}$  с допустимыми такими же значениями, установленными техническими характеристиками элементов СЭС (шин ГРЩ, автоматических выключателей, предохранителей). Сравнение производится для селективных выключателей, для неселективных выключателей и предохранителей – для шин ГРЩ. Проверке подлежат все автоматические выключатели и предохранители, через которые проходит ток короткого замыкания. Результаты проверки оформляются табл. 22.

Таблица 22

**Результаты проверки АВ и предохранителей в режиме КЗ**

Обозначение на исходной схеме	Тип АВ, предохранителя	Допустимые значения			Расчетные значения			Вывод
		$I_{уд, доп}$ , А	$I_{кз, доп}$ , А	$I^2 \cdot t_{доп}$ , А <sup>2</sup> ·с	$I_{уд, расч}$ , А	$I_{кз, расч}$ , А	$I_{\infty}^2 \cdot t_{ф}$ , А <sup>2</sup> ·с	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Тип АВ и предохранителя (графа 2) выписывается из табл. 12. Из этой же таблицы берутся допустимые значения. После занесения в табл. 16 расчетных значений делается сравнение граф 3 и 6, 4 и 7, 5 и 8. По результатам сравнения делается вывод о допустимости применения выбранного выключателя и предохранителя в проектируемой СЭС.

Шины ГРЩ проверяются отдельно путем сравнения расчетных механических напряжений  $\sigma_{расч}$  с допустимыми  $\sigma_{доп}$  и расчетной температуры короткого замыкания  $\theta_{кз}$  с максимальной  $\theta_{max}$ . Для медных шин  $\theta_{кз} = 300^{\circ}$ ,  $\sigma_{доп} = 14000$  Н/см<sup>2</sup>.

#### **4.16. Расчет провала напряжения при пуске мощного асинхронного двигателя**

**Расчёт провала напряжения синхронного генератора.** Отличительной особенностью СЭС переменного тока является наличие в них асинхронных короткозамкнутых двигателей, мощность которых соизмерима с мощностью генераторов. Значительные пусковые токи вызывают значительное снижения напряжения в сети, что может оказать отрицательное влияние на работу СЭС.

Действующее значение пускового тока асинхронных короткозамкнутых двигателей составляет  $(5-7)I_{нГ}$ . Если, например, мощность электродвигателя составляет 30% мощности генератора, то в момент пуска ток электродвигателя по отношению к номинальному току генератора будет составлять  $(5-7)0,3I_{нГ} = (1,5-2,1)I_{нГ}$

При набросе подобных токов синхронные генераторы очень сильно снижают напряжение, т.е. провал напряжения может быть большим и длительным. Пусковой ток асинхронного короткозамкнутого двигателя в процессе его разгона практически остаётся неизменным и уменьшается только в конце разгона, т.е. действует длительное время. Правилам РечРФ провал напряжения на шинах ГРЩ должен превышать 15% от номинального напряжения генераторов.

Поэтому иногда, из-за того, чтобы печить допустимый провал напряжения, ходится подключать ещё на параллельную работу дополнительные генераторы. В процессе разгона двигателя ток имеет очень высокую реактивную составляющую, и коэффициент мощности  $\cos\varphi = (0,3-0,4)$ . На рис.8 ны расчётная схема и схема замещения.

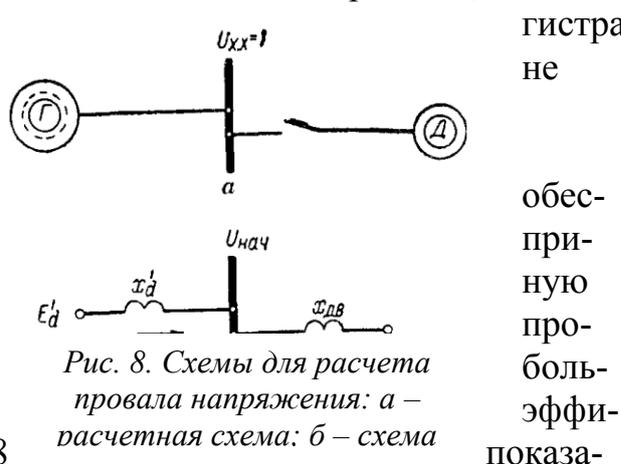


Рис. 8. Схемы для расчета провала напряжения: а – расчетная схема; б – схема

гистра не  
обес-  
при-  
ную  
про-  
боль-  
эффи-  
показа-

Методика расчёта провала напряжения предусматривает следующие допущения, не вызывающие особых погрешностей, но существенно упрощающие расчёт:

1. сопротивление двигателя принимается постоянным и равным сопротивлению, которое имеет двигатель в начальный момент пуска;
2. частота вращения генератора остаётся неизменной;
3. все активные сопротивления, в том числе сопротивление кабельной сети, не учитываются, что даёт некоторое завышение провала напряжения, как бы компенсируя допущение 2;
4. предполагается, что генератор работает на холостом ходу (предварительно нагруженный генератор имеет меньший провал напряжения).

При расчётах (рис.8) в качестве реактивного сопротивления генератора принимается переходное ( $X *'_d$ ) сопротивление, так как к моменту максимального провала напряжения сверхпереходной процесс закончился.

Расчёт ведется в относительных единицах, и за базу принимаются номинальные параметры генератора  $U_{нГ}$ ;  $S_{нГ}$ ; (относительно этих базисных величин в технических параметрах генератора указывается величина  $X'_d$  в относительных единицах). Поэтому реактивное сопротивление двигателя необходимо выразить в относительных единицах, приведённых к параметрам генератора, по формуле

$$X_{*дв} = \frac{S_{нГ}}{KS_{ндв}} \left( \frac{U_{ндв}}{U_{нГ}} \right)^2 \quad (109)$$

где  $X_{*дв} = \frac{S_{нг}}{K S_{ндв}}$  – сопротивление двигателя в относительных единицах, о.е.;

$S_{нг}$  – номинальная мощность генератора, ВА;  $U$

$K$  – кратность пускового тока двигателя;

$U_{ндв}$  – номинальное напряжение двигателя, В.;

$U_{нг}$  – номинальное напряжение генератора, В.;

$S_{ндв}$  – номинальная мощность двигателя, ВА, которая, в свою очередь, определяется по формуле

$$S_{ндв} = \frac{P_{ндв}}{\cos \varphi_n \cdot \eta_n} \quad (110)$$

где  $P_{ндв}$  – номинальная активная мощность двигателя, Вт;

$\cos \varphi_n$  – номинальный коэффициент мощности;

$\eta_n$  – номинальный коэффициент полезного действия.

Провал напряжения в относительных единицах при пуске двигателя определяется по формуле

$$\Delta U_* = 1 - \frac{X_{*дв}}{X_{*дв} - X_{*d}'}, \quad (111)$$

где  $\Delta U_*$  – провал напряжения в относительных единицах;

$X_{*дв}$  – относительное приведённое сопротивление двигателя, о.е.;

$X_{*d}'$  – относительное переходное сопротивление генератора, о.е.

В том случае, если провал напряжения  $\Delta U_*$  превысит допустимое значение 0,15 (15%), необходимо при запуске двигателя подключать дополнительные генераторы параллельно. При параллельной работе генераторов их общее переходное сопротивление уменьшается, и провал напряжения также уменьшается, В противном случае необходимо искать способы ограничения пусковых токов двигателя.

Расчет начинается с определения полной мощности АД, которая указана в процентах от мощности одного генератора в разделе VII задания. Там же приводятся характеристики АД:

$K_{пуск}$  – кратность пускового тока двигателя;

$\cos \varphi_{дв.п}$  – коэффициент мощности двигателя при пуске;

$\cos \varphi_n$  – номинальный коэффициент мощности;

$\eta_n$  – номинальный КПД двигателя.

Так как расчет является сравнительно сложным, то поясним его примером.

Дано: генератор МСК-500-1500 мощностью  $S_{г} = 500$  кВА; мощность АД составляет 26% от мощности генератора;  $\cos \varphi_{дв.п} = 0,4$ ;  $\cos \varphi_n = 0,8$ ;  $\eta_n = 0,84$ ;  $K_{пуск} = 6$ ;  $U_{г} = 400$  В;  $U_{дв} = 380$  В.

Решение:

1. Полная мощность двигателя

$$S_{дв} = 0,26 \cdot S_{г} = 0,26 \cdot 500 = 130 \text{ кВА}$$

2. Индуктивное сопротивление двигателя

$$X_{дв} = \frac{S_{\Gamma}}{K_{пуск} \cdot S_{дв}} \cdot \left( \frac{U_{дв}}{U_{\Gamma}} \right)^2 = \frac{500}{6 \cdot 130} \cdot \left( \frac{380}{400} \right)^2 = 0,578 \text{ о. е.}$$

3. Коэффициент, характеризующий перевод ЭДС генератора в переходный период  $E'_d$  в начальное напряжение  $U_{нач}$

$$K_1 = \frac{X_{дв}}{X_{дв} + X'_d} = \frac{0,578}{0,578 + 0,2} = 0,743 \text{ о. е.}$$

где  $X'_d = 0,2$  – сопротивление генератора в переходный период.

С учетом  $K_1 U_{нач} = E'_d \cdot K_1$

4. Коэффициент, характеризующий перевод ЭДС генератора в установившийся период  $E_d$  в установившееся напряжение без АРН в конце пуска двигателя  $U_{уст.о}$

$$K_2 = \frac{X_{дв}}{X_{дв} + X_d} = \frac{0,578}{0,578 + 1,666} = 0,258 \text{ о. е.}$$

где  $X_d = 1,666$  – сопротивление генератора в установившийся период.

С учетом  $K_2 U_{уст.о} = E_d \cdot K_2$

Так как наброс нагрузки произошел на генератор, работавший до этого на холостом ходу, то в относительных единицах можно принять, что  $U_{xx} = 1$ . Тогда  $E'_d = 1$  и  $E_d = 1$ . В этом случае

$$U_{нач} = K_1 = 0,743 \text{ о. е.}$$

$$U_{уст.о} = K_2 = 0,258 \text{ о. е.}$$

5. Вычисляем минимальное время  $t_{min}$  достижения генератором минимального напряжения  $U_{min}$  при действии АРН:

$$t_{min} = \tau'_d \cdot \ln \left( \frac{U_{нач} - U_{уст.о}}{K_2 \cdot K \cdot \tau'_d} + 1 \right) = 0,34 \cdot \ln \left( \frac{0,743 - 0,258}{0,258 \cdot 25 \cdot 0,34} + 1 \right) = \\ = 0,34 \cdot \ln 1,22 = 0,068 \text{ с}$$

где  $K = 25$  – коэффициент, характеризующий величину потолочного напряжения обмотки возбуждения; для генераторов с самовозбуждением  $K = 25 \dots 30$ ;

$\tau'_d = 0,34$  с – постоянная времени обмотки возбуждения генератора при замкнутой обмотке статора.

6. Вычисляем минимальное напряжение  $U_{min}$ , которое достигнет генератор в результате размагничивания при пуске мощного асинхронного двигателя и действии АРН.

$$U_{min} = U_{уст.о} + (U_{нач} - U_{уст.о}) \cdot e^{-t_{min} / \tau'_d} + K_2 K \left[ t_{min} - \tau'_d \left( 1 - e^{-t_{min} / \tau'_d} \right) \right] = \\ = 0,258 + (0,743 - 0,258) \cdot e^{-0,068 / 0,34} + \\ + 0,258 \cdot 25 \left[ 0,068 - 0,34 \left( 1 - e^{-0,068 / 0,34} \right) \right] = \\ = 0,0258 + 0,3997 + 0,041 = 0,0696 \text{ о. е.}$$

7. При наличии минимального напряжения  $U_{min}$  можно вычислить максимальный провал напряжения при пуске мощного АД, т.е.

$$\Delta U_{max} = (1 - U_{min}) \cdot 100 = (1 - 0,696) \cdot 100 = 30,4\%$$

Это значение почти в два раза превосходит допустимый Российским морским Регистром 15-процентный провал напряжения. Поэтому применяем метод пуска при двух параллельно работающих генераторах. Их суммарная мощность

$$S_{пар} = 2 \cdot 500 = 1000 \text{ кВА}$$

Сопротивление двигателя

$$X_{дв} = \frac{1000}{6 \cdot 130} = 1,28 \text{ о. е.}$$

Коэффициенты  $K_1$  и  $K_2$

$$K_1 = \frac{1,28}{1,28+0,2} = 0,865 \text{ о. е.}; K_2 = \frac{1,28}{1,28+1,666} = 0,435 \text{ о. е.}$$

Сопротивления генератора в переходный период  $X'_d$  и в установившийся период  $X_d$  остаются неизменными, т.е.  $X'_d = 0,2$ ;  $X_d = 1,666$ . Докажем это на примере  $X'_d$ .

Известно, что в относительных единицах сопротивление генератора

$$X_{d'}^* = X_d \cdot \frac{S_{\Gamma}}{U_{\Gamma}^2}$$

откуда

$$X_{d'} = \frac{X_{d'}^* \cdot U_{\Gamma}^2}{S_{\Gamma}} = \frac{0,2 \cdot 400^2}{50000} = 0,064 \text{ Ом}$$

При включении в параллель результирующее сопротивление уменьшается в два раза, т.е.

$$X_{пар} = \frac{X_{d'}}{2} = \frac{0,064}{2} = 0,032 \text{ Ом}$$

Сопротивление двух генераторов в о.е. будет равно

$$X_{d' пар}^* = 0,032 \cdot \frac{1000000}{160000} = 0,2 \text{ о. е.}$$

т.е. осталось неизменным.

Продолжим вычисления

$$U_{нач} = K_1 = 0,865 \text{ о. е.}; U_{уст.о.} = K_2 = 0,435 \text{ о. е.}$$

$$t_{min} = 0,34 \cdot \ln \left( \frac{0,865 - 0,435}{0,435 \cdot 25 \cdot 0,34} + 1 \right) = 0,039 \text{ с}$$

$$\begin{aligned} U_{min} &= 0,435 + (0,865 - 0,435) \cdot e^{-0,039/0,34} + \\ &+ 0,435 \cdot 25 \left[ 0,039 - 0,34 \left( 1 - e^{-0,039/0,34} \right) \right] = \\ &= 0,435 + 0,43 \cdot 0,894 + 0,435 \cdot 25 \cdot 0,003 = \\ &= 0,435 + 0,384 + 0,033 = 0,852 \text{ о. е.} \end{aligned}$$

Максимальный провал напряжения

$$\Delta U_{max} = (1 - 0,852) \cdot 100 = 14,8\%$$

что соответствует требованиям Регистра.

Данные вычисления нуждаются в проверке. Проверку будем осуществлять другим методом, который называется графическим. Для этого используем зави-

симось  $\Delta U_{max} = f(J_{дв})$ , где  $J_{дв}$  – проводимость двигателя. Графическую зависимость генераторов с самовозбуждением покажем на рис.5. Разброс параметров  $\Delta U_{max}$ , изображенный на рисунке, обусловлен разными типами генераторов и на результаты проверки большого влияния не оказывает.

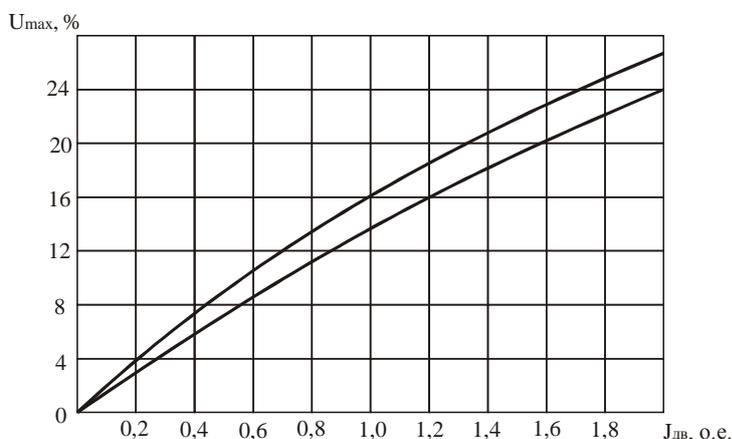


Рис.9. Зависимость провала напряжения  $\Delta U_{max}$ , от проводимости АД при  $\cos \varphi_{дв.п} = 0,4 \dots 0,5$

Активное сопротивление АД при пуске вычислим по следующей формуле:

$$r_{дв.п} = \frac{\eta_n \cdot \cos \varphi_n \cdot S_{\Gamma}}{K_{пуск} \cdot P_{дв}} = \cos \varphi_{дв.п} \cdot \left( \frac{U_{дв}}{U_{\Gamma}} \right)^2 =$$

$$= \frac{0,84 \cdot 0,87 \cdot 1000}{6 \cdot 113,1} \cdot 0,4 \cdot \left( \frac{380}{400} \right)^2 = 0,388 \text{ о.е.}$$

где  $P_{дв} = S_{дв} \cdot \cos \varphi_n = 130 \cdot 0,87 = 113,1 \text{ кВт}$

Индуктивное сопротивление при пуске

$$X_{дв.п} = r_{дв.п} \cdot \frac{\sin \varphi_{дв.п}}{\cos \varphi_{дв.п}} = 0,388 \cdot \frac{0,916}{0,4} = 0,888 \text{ о.е.}$$

где  $\sin \varphi_{дв.п} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{дв.п}} = \sqrt{1 - 0,4^2} = 0,916 \text{ о.е.}$

Активная проводимость двигателя при пуске

$$g_{дв.п} = \frac{r_{дв.п}}{r_{дв.п}^2 + X_{дв.п}^2} = \frac{0,388}{0,388^2 + 0,888^2} = 0,414 \text{ о.е.}$$

#### 4.17 Автоматизация СЭЭС

Российским морским Регистром предусмотрено два знака автоматизации в символе класса судна: знак А2 для судов без постоянной вахты в МКО, но с постоянной вахтой в центральном посту управления (ЦПУ); знак А1 для судов с безвахтенным обслуживанием в МКО. Требования, формируемые под эти знаки, распространяются также на СЭЭС.

Одним из условий автоматизации судна и СЭЭС является автоматизация генераторных агрегатов (ГА). Она предусматривает дистанционное автоматическое управление (ДАУ) приводными двигателями, дистанционный контроль их техни-

ческого состояния, сигнализацию о надвигающейся аварийной ситуации, автоматическую защиту. Поэтому в курсовом проекте надо подробно описать эту сторону автоматизации СЭЭС.

**Автоматические системы управления генераторными агрегатами.** В пояснительной записке проекта необходимо начертить функциональную схему дизель-генераторной установки и подробно описать назначение и порядок функционирования следующих элементов установки:

1. датчики контроля системы охлаждения и смазки;
2. подогреватель;
3. насос для прокачивания дизеля маслом;
4. охладитель масла;
5. баллон сжатого воздуха;
6. насос забортной воды;
7. насос для прокачивания пресной воды при подогреве;
8. электромагнитные клапаны баллона пускового воздуха;
9. рабочее стоп-устройство;
10. регулятор частоты вращения вала дизеля;
11. звуковой сигнализатор.

Также в пояснительной записке делается рисунок основного пульта управления (ОПУ) и описываются причины появления следующих сигналов: температура воды, температура масла, давление масла, разнос. При разработке и описании данного подраздела курсового проекта ориентироваться на выбранный при расчете судовой электростанции дизель-генератор, перечни которых представлены в табл. 3 настоящих методических указаний.

Данный подраздел курсовой работы подготавливает студента для прочтения разделов 3, 4, 5 части XV Правил Регистра и выработки мероприятий по обеспечению надежности электроснабжения по сигналам аварийно-предупредительной сигнализации (АПС), поступающих на пульт управления от генераторных агрегатов.

**Обеспечение надежности электроснабжения по сигналам АПС.** Важным условием автоматизации является сигнализация в ЦПУ или ГПУ (главный пост управления на ходовом мостике) о нарушениях надежного электроснабжения. Особенно это касается судовой электростанции. Таблица 4.1.2 части XV Правил Регистра дает объем аварийно-предупредительной сигнализации (АПС), индикации и защиты всех судовых объектов, в том числе электростанции. На эти сигналы должны быть выработаны действия обслуживающего персонала или средств автоматики, обеспечивающие надежность электроснабжения как в соответствии со знаком А2, так и со знаком А1.

В табл. 4.1.2 части XV Правил Регистра студентами рассматриваются только сигналы, относящиеся к электростанции, оборудованной для привода генераторов двигателями внутреннего сгорания (ДВС). По каждому из сигналов должны быть приняты действия обслуживающего персонала или средств автоматики с целью

обеспечения надежности электроснабжения. Эти действия оформляются в виде табл. 23, пример которой приведен ниже.

Таблица 23

**Обеспечение надежности электроснабжения по сигналам АПС**

Контролируемый параметр	Предел отклонения	Место получения сигнала АПС	Защита: остановка или изменение режима	Дальнейшие действия обслужив. персонала и средств автоматики	Знак автоматизации
1	2	3	4	5	6
Сила тока	max	ЦПУ	Снижение нагрузки на генератор	Дистанционное отключение потребителей 3-й категории	A2
		ПУ	Снижение нагрузки на генератор	Автоматический пуск резервного ДГ	A1
Давление масла в системе смазки	min	ЦПУ	Остановка ДГ	Дистанционный пуск резервного ДГ, автоматическая синхронизация и распределение нагрузки	A2
		ПУ	Остановка ДГ	Автоматический пуск резервного ДГ, автоматическая синхронизация и распределение нагрузки	A1
Давление всасывающего воздуха	min	ЦПУ	Режим не изменяется	Дистанционный пуск резервного компрессора	A2
		ГПУ	Режим не изменяется	Вызов обслуживающего персонала	A1

Структурную схему автоматизации необходимо в упрощенном виде (для трех генераторов) изобразить в пояснительной записке и дать объяснение о назначении каждого из элементов автоматизированной СЭС.

Кроме того, в пояснительной записке подробно описываются по заданию руководителя отдельные системы автоматизации генераторов и электростанции в целом и приводятся принципиальные или структурные схемы с разъяснением их работы. Системы автоматизации сведены в табл. 24.

Таблица 24

**Системы автоматизации генераторов и СЭС**

Наименование системы	Литературный источник	Схема
Автоматическое регулирование напряжения	[1], с. 59 – 65; [2], темы 7, 8; [9], с. 34 - 66	Одна из принципиальных схем комбинированной системы автоматического регулирования напряжения СГ.
Автоматическое регулирование	[1], с. 68 – 73;	Принципиальная схема

вание частоты	2], тема 9	комбинированной САРЧ
Автоматическая синхронизация	1], с. 148 – 152; 2], тема 14	Структурная схема автоматического синхронизатора
Автоматическое распределение активных нагрузок	1], с. 152 – 156; 2], тема 15	Структурная схема типа УРЧН
Автоматическое распределение реактивных нагрузок	1], с. 157 – 159; 2], тема 15	Принципиальная схема с корректором напряжения
Автоматический пуск резервного ГА при перегрузке СЭС	5], с. 162 – 164	Структурная схема
Автоматический пуск аварийного ДГ при исчезновении напряжения на шинах ГРЩ	1], с. 167 – 170	Принципиальная схема исполнительной подсистемы

Алгоритмы автоматического управления предназначены для анализа ситуации, для принятия решения на основе анализа и реализации этих решений с помощью оператора или технических устройств. Граф-схемы алгоритмов в деталях рассматривают весь процесс принятия решений и их реализации. На основании граф-схем разрабатываются принципиальные схемы автоматического управления. Поэтому разработка алгоритмов является важным условием приобретения навыков в познании процессов автоматического управления судовой электроэнергетической системой.

Предлагаются к разработке следующие алгоритмы:

1. алгоритм синхронизации генераторов;
2. алгоритм автоматического распределения активной нагрузки;
3. алгоритм автоматической разгрузки генераторов, включения резервного генератора и переключения питания потребителей;
4. алгоритм вывода СЭЭС из состояния обесточивания;
5. алгоритм управления включением программированных потребителей электроэнергии;
6. алгоритм защиты СЭЭС от обрыва фазы и снижения напряжения при питании с берега;
7. алгоритм контроля и диагностирования изоляции электрических сетей;
8. алгоритм звуковой и световой сигнализации СЭЭС;
9. алгоритм поддержания ДГ в прогретом состоянии;
10. алгоритм пуска ДГ;
11. алгоритм остановки ДГ;
12. алгоритм защиты ДГ;
13. алгоритм функционирования системы распределения активной нагрузки в СЭЭС с утилизационным турбогенератором;
14. алгоритм ввода в работу валогенератора;
15. алгоритм вывода АГ из работы;
16. алгоритм автоматического пуска АДГ и приема им нагрузки;

17. алгоритм контроля параметров дизеля и формирования аварийно-предупредительного сигнала.

Конкретное задание для разработки того или иного алгоритма дает руководитель курсового проекта.

#### 4.18 Выбор электроизмерительных приборов

Перечень и расположение приборов контроля, управления, электроизмерительных приборов показан на структурной схеме ГРЩ. Выбор электроизмерительных приборов в курсовом проекте предусматривается только для генераторных панелей.

В соответствии с требованиями Регистра для генераторов устанавливаются следующие приборы:

1. амперметр с переключателем для измерения тока в каждой фазе;
2. вольтметр с переключателем для измерения фазных и линейных напряжений;
3. частотомер;
4. ваттметр.

На некоторых генераторных панелях устанавливают фазометры. В судовых электростанциях с двумя генераторами, для которых предусмотрена параллельная работа, на генераторной панели устанавливается также синхроскоп. Это делается потому, что панель управления на ГРЩ проектируется только для электростанций с тремя генераторами или двумя генераторами и щитом питания с берега (ЩПБ).

Измерительные приборы должны иметь шкалы с запасами по делениям, превышающими номинальные значения измеряемых величин: вольтметры – 120%, остальные приборы – 130%, частотомеры –  $\pm 10\%$  номинальной частоты.

Класс точности приборов, устанавливаемых на ГРЩ – 1,5...2,5. Переключатели в цепях трансформаторов тока должны работать без разрыва цепи. Использование предохранителей в цепях трансформаторов напряжения, в вольтметрах, частотомерах, ваттметрах и синхроскопах обязательно.

В качестве трансформатора напряжения рекомендуется использовать трансформатор типа ОСБ-2,2, первичное напряжение которого 380В, а вторичное – 127В. Номинальная мощность трансформатора 40 ВА, класс точности 1,0. Нагрузка на трансформатор не должна превышать его номинальную мощность, т.е.

$$\sum P_{\text{приб}} \leq P_{\text{ном.тр}} \quad (112)$$

где  $\sum P_{\text{приб}}$  – сумма мощностей приборов, подключаемых к трансформатору напряжения;

$P_{\text{ном.тр}}$  – номинальная мощность трансформатора.

Трансформаторы тока выбирают по номинальному току и напряжению. Условия выбора:

$$(1,2 \dots 1,5) \cdot I_{\text{раб}} \leq I_{1\text{ном}}; \quad (113)$$

$$U_{\text{раб}} \leq U_{\text{ном}} \quad (114)$$

где  $I_{\text{раб}}$  – рабочий ток в цепи, А;

$I_{1\text{ном}}$  – номинальный ток первичной обмотки трансформатора тока, А;

$U_{\text{раб}}$  – рабочее напряжение измеряемой цепи, В;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение трансформатора тока, В.

После выбора электроизмерительных приборов, трансформаторов тока и напряжения на листе чертежной бумаги формата А3 следует привести принципиальную схему включения приборов на генераторной секции ГРЩ. К схеме должна быть приложена таблица спецификации выбранных приборов и трансформаторов с их техническими характеристиками. Выбор переключателей не требуется. Но на схеме четко показывается порядок переключения приборов и отсутствие разрыва цепи во вторичной цепи трансформатора тока.

В заключение в пояснительной записке рисуется структурная схема ГРЩ с подробным описанием назначения всех приборов управления и защиты, установленных на главном распределительном щите.

На этом работа над КР заканчивается, после чего весь материал сдается на проверку руководителю проекта в соответствии с графиком, выданным студенту вместе с заданием. Выполнение отдельных разделов проекта также контролируется руководителем согласно графику.

## 5. ЛИТЕРАТУРА

### *Основная литература*

1. *Баранов А.П.* Судовые автоматизированные электроэнергетические системы. – СПб: Судостроение, 2005. – 528 с.
2. *Богомолов В.С.* Судовые электроэнергетические системы и их эксплуатация – М.: Мир, 2006. – 327 с.

### *Дополнительная литература*

3. *Аветисян Д.А.* Автоматизация проектирования электрических систем – М.: Высшая школа, 1987. – 352 с.
4. *Алексеев Н.А., Макаров С.Б., Портнягин Н.Н.* Микропроцессорные системы управления электроэнергетическими установками промысловых судов. – М.: Колос, 2008. – 118 с.
5. *Баранов А.П., Раимов М.М.* Моделирование судового электрооборудования и средств автоматики. – СПб.: Элмор, 1997. – 232 с.
6. *Краснов В.В., Мещанинов П.А., Мещанинов А.П.* Основы теории и расчета судовых электроэнергетических систем. – Л.: Судостроение, 1989. – 373 с.
7. *Никифоровский Н.Н., Норневский Б.И.* Судовые электрические станции. Изд-во «Транспорт», 1974 г. – 432 с.
8. *Сергиенко Л.И., Миронов В.В.* Электроэнергетические системы морских судов. – М.: Транспорт, 1991. – 264 с.
9. *Соловьев, В.И. Самулев.* Судовые электроэнергетические системы. – М.: Транспорт, 1991. – 248 с.
10. *Таев И.С.* Основы теории электрических аппаратов. – М.: Высшая школа, 1987. – 352 с.
11. *Токарев Л.Н.* Математическое описание, расчет и моделирование физических процессов в судовых электростанциях. – Л.: Судостроение, 1980. – 119 с.
12. *Яковлев Г.С.* Судовые электроэнергетические системы. – Л.: Судостроение, 1987. – 272 с.