

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Калининградский государственный технический университет»

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота

С.М. Русаков

**РАЗРАБОТКА СУДОВОЙ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Учебно-методическое пособие
по выполнению курсового проекта по дисциплине
«Судовые автоматизированные электроэнергетические системы»
для курсантов специальности 26.05.07
«Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики»

Калининград
Издательство БГАРФ
2021

Разработка судовой электроэнергетической системы: учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта / С.М. Русаков. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2022. – с.

Учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта рассмотрено и одобрено на заседании кафедры ЭАС БГАРФ 2022г., протокол № от

Печатается по решению редакционно-издательского совета Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота.

Рецензент:

ВВЕДЕНИЕ

Судовые автоматизированные электроэнергетические системы (САЭЭС) в судовом электрооборудовании занимают особое место, обеспечивая электроэнергией всех потребителей судна. Современные САЭЭС являются одними из самых сложных энергетических комплексов, в которых широко применяются современные решения в области электроэнергетики и автоматики.

В состав САЭЭС входят следующие элементы:

- источники (генераторные агрегаты и аккумуляторы) и преобразователи электрической энергии (трансформаторы, выпрямители и т.д.) с системами регулирования и управления;
- главный (ГРЩ), аварийный (АРЩ) и вторичные (РЩ) электрораспределительные щиты;
- перемычки, с помощью которых осуществляется передача электроэнергии от основной электростанции к аварийной или между основными электростанциями в САЭЭС, состоящей из двух основных электростанций;
- линии электропередачи;
- электрораспределительный щит питания с берега (РЩПБ).

При проектировании САЭЭС учитывают условия эксплуатации и режимы их работы, а также показатели качества, которым они должны соответствовать.

Курсовой проект по дисциплине «Судовые автоматизированные электроэнергетические системы» выполняется в восьмом семестре.

Цель курсового проекта заключается в формировании части компетенций в соответствии с МК ПДНВ (табл. А-III/6 Спецификация минимальных стандартов компетентности для электромехаников. Функция: Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления на уровне эксплуатации, а также навыков самостоятельной работы и умения применять знания, полученные в процессе изучения дисциплины «Судовые автоматизированные электроэнергетические системы» и сопутствующих дисциплин в дальнейшей профессиональной деятельности.

Задачи выполнения курсового проекта состоят в следующем:

- освоение методик расчета и проектирования судовых электроэнергетических систем;
- закрепление и расширение теоретических знаний путем выполнения специальных расчетов, решения стандартных инженерных задач в рамках дисциплины;
- решение инженерных задач с учётом требований соответствующих разделов правил Российского Морского Регистра судоходства и других контролирующих организаций, а также ГОСТ, ОСТ, ТУ и т.п.;
- комплексное применение знаний, умений и навыков, приобретенных при изучении дисциплин общепрофессионального и профессионального модулей к решению задач производственного характера;
- формирование навыков проектно-конструкторской работы путем приобретения опыта технически грамотного оформления результатов инженерных расчетов и графического материала в соответствии с требованиями стандартов;
- совершенствование навыков работы с различными источниками информации;

- совершенствование навыков использования ПК в качестве инструмента при решении инженерных задач.

В результате выполнения курсового проекта курсант должен

знать:

- цели, задачи, принципы и последовательность проектирования САЭЭС;
- табличный метод расчета количества и мощности генераторов судовой электростанции;
- методы и алгоритмы расчета и выбора сечений судовой кабельной сети;
- методы и алгоритмы расчета токов короткого замыкания и провалов напряжения в судовой электроэнергетической системе;
- структуру и алгоритмы работы современных микропроцессорных систем управления и регулирования САЭЭС;

уметь:

- составить структурную схему САЭЭС;
- выполнить расчёт токов короткого замыкания и провалов напряжения в САЭЭС;
- рассчитать и выбрать сечение кабелей судовой сети;
- выбрать коммутационно-защитную аппаратуру;
- анализировать работу современных микропроцессорных систем управления и регулирования САЭЭС;

владеть:

- навыками использования методик и алгоритмов, необходимых при проектировании САЭЭС;
- навыками выбора коммутационно-защитной аппаратуры;
- навыками использования компьютерных технологий при проектировании САЭЭС;
- навыками чтения схем современных микропроцессорных систем управления и регулирования САЭЭС.

ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА В СООТВЕТСТВИИ С МК ПДНВ

При выполнении курсового проекта частично формируются компетенции К1 и К3 МК ПДНВ (табл. А-III/6 Спецификация минимальных стандартов компетентности для электромехаников. Функция: Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления на уровне эксплуатации).

В табл.1 приведено содержание табл. А-III/6 МК ПДНВ, которое соотносится с курсовым проектом «Разработка судовой электроэнергетической системы» дисциплины САЭЭС.

Таблица 1

Сфера компетентности	Знание, понимание и профессиональные навыки	Методы демонстрации компетентности	Критерии для оценки компетентности
Наблюдение за эксплуатацией электрических и электронных систем, а также систем управления. К1	<i>Знание следующего:</i> Электрические распределительные щиты и электрооборудование.	Экзамен и оценка результатов подготовки, полученной в одной или нескольких из следующих форм: .4 одобренная подготовка с использованием лабораторного оборудования.	Эксплуатация оборудования и систем соответствует руководствам по эксплуатации. Рабочие характеристики соответствуют техническим спецификациям.
Эксплуатация генераторов и распределительных систем. К3	Соединение, распределение нагрузки и переключение генераторов. Соединение и отсоединение распределительных щитов и распределительных пультов.	Экзамен и оценка результатов подготовки, полученной в одной или нескольких из следующих форм: .3 одобренная подготовка на тренажере, где это применимо; .4 одобренная подготовка с использованием лабораторного оборудования.	Операции планируются и выполняются в соответствии с руководствами по эксплуатации, установленными правилами и процедурами, обеспечивающими безопасность операций. Электрические распределительные системы могут быть поняты и объяснены с помощью чертежей/инструкций.

Часть компетенции К1, формируемая при выполнении курсового проекта, представлена в табл. 2 в детализированном виде: перечень электрооборудования СЭЭС, назначение и устройство которого обучающийся должен знать; принципы построения СЭЭС, их структуру; распределение электроэнергии на судах, принципы регулирования напряжения и частоты в СЭЭС, основные физические процессы в электрических машинах и аппаратах при параллельной работе, при передаче электрической энергии, при коротких за-

мыканиях и при пуске мощных потребителей, которые обучающийся должен знать; умений, которые обучающийся должен приобрести и навыками, которыми обучающийся должен владеть.

Таблица 2

Знать:
условия синхронизации генераторных агрегатов и последствия их нарушений, методы синхронизации, метод автоматической точной синхронизации генераторов, распределение активной и реактивной нагрузки, работу устройств автоматического регулирования активной мощности и частоты при параллельной работе генераторов.
Уметь:
определять вид, назначение и характеристики электrorаспределительных щитов, генераторных и сетевых автоматических выключателей, коммутационных электрических аппаратов ручного действия, шин и силовых кабелей электrorаспределительных щитов, комбинированных защитных устройств и реле защиты, предохранителей, электроизмерительных приборов и трансформаторов, генераторов и электродвигателей, силовых трансформаторов и преобразователей электроэнергии, регуляторов генераторных агрегатов; анализировать работу элементов систем автоматического регулирования генераторных агрегатов и устройств параллельной работы генераторных агрегатов, устройств распределительных щитов, судовых электрических сетей, светотехнических приборов, судовых электрических машин и трансформаторов, устройств защиты генератора с целью осуществления выбора для замены.
Владеть:
- навыками расчета количества и мощности судовых дизель-генераторов, токов короткого замыкания, потерь напряжения при передаче электрической энергии судовым потребителям, провалов напряжения при пуске мощных потребителей; навыками технического обслуживания без вывода из действия устройств и аппаратов электrorаспределительных щитов, генераторных и сетевых автоматических выключателей, шин и силовых кабелей электrorаспределительных щитов, комбинированных защитных устройств и реле защиты, предохранителей, электроизмерительных приборов и трансформаторов, генераторов, силовых трансформаторов и преобразователей электроэнергии, регуляторов генераторных агрегатов.

Часть компетенции КЗ, формируемая при выполнении курсового проекта, представлена в табл. 3 в детализированном виде: задачи организации параллельной работы генераторов и их решение, которые обучающийся должен знать; умений разработать схемы подключения источников и потребителей электрической энергии, которые обучающийся должен приобрести и навы-

ками чтения схем распределения электроэнергии, которыми обучающийся должен владеть.

Таблица 3

Знать:
условия синхронизации и последствия их нарушений, методы синхронизации, метод автоматической точной синхронизации генераторов, распределение активной и реактивной нагрузки, работу устройств автоматического регулирования активной мощности и частоты при параллельной работе генераторов.
Уметь:
разработать схемы подключения и автоматической защиты генератора, трансформатора и потребителей электрической энергии.
Владеть:
- навыками чтения схем распределения электроэнергии от главного распределительного щита к мощным потребителям, силовым трансформаторам, преобразователям и промежуточным распределительным щитам.

ОБЪЕМ И СОСТАВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА И ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

Курсовой проект должен состоять из расчетно-пояснительной записки объемом 45-60 страниц формата А4 и двух листов графического материала формата А1.

Расчетно-пояснительная записка

Пояснительная записка оформляется в соответствии с ГОСТ 7-32-81 «Отчет о научно-исследовательской работе» и методическими указаниями по структуре и оформлению пояснительной записки и графической части ВКР (В.Ф. Игушев, Безсмолова И.В. Выпускная квалификационная работа. Методические указания по структуре и оформлению пояснительной записки и графической части для курсантов и студентов судомеханического факультета специальностей 26.05.06, 26.05.07, 16.03.03 всех форм обучения. – Калининград: Издательство БГАРФ, 2020. – 47 с.)

Расчетно-пояснительная записка должна содержать:

- титульный лист;
- задание на проектирование;
- введение, расчеты, схемы, диаграммы и т.п. с пояснениями к ним;
- описание системы управления (регулирования напряжения) генераторного агрегата судовой электростанции;
- заключение;
- список литературы;
- оглавление.

Во введении необходимо показать общие задачи проектирования и требования, предъявляемые к проектируемой САЭЭС.

В основной части пояснительной записки приводятся расчеты, описание необходимых параметров и характеристик соответствующих схем и оборудования, выбор и конструкция аппаратов и различных изделий. Расчеты и описания должны сопровождаться эскизами, графиками, диаграммами и т.п. Все рисунки (схемы, диаграммы, эскизы) должны иметь сквозную нумерацию и выполняться на стандартных листах бумаги.

Формулы должны иметь расшифровку с указанием всех входящих величин и их размерности в системе СИ. Когда формулы, технические данные, методики расчетов отдельного оборудования берутся из литературы, то необходимо давать ссылки на эту литературу, указывая ее номер в списке литературы.

Если приводятся однотипные расчеты, то в пояснительной записке приводится только один расчет, остальные сводятся в таблицу.

Отдельная глава пояснительной записки должна быть посвящена описанию системы управления генераторными агрегатами судовой электростанции (системы автоматического регулирования напряжения генератора).

В пояснительной записке необходимо сделать выводы о результатах проектирования.

Графическая часть

В этой части должны быть сделаны следующие чертежи:

- структурная электрическая схема СЭЭС;
- электрическая схема секции ГРЩ (генераторной или распределительной).

Тема, исходные данные и порядок разработки курсового проекта

Тема курсового проекта: Разработка электроэнергетической системы рыбопромышленного судна.

В приложении 1 представлена таблица 1.1 с вариантами исходных данных для выполнения расчетной части курсового проекта. Вариант выбирается в соответствии с шифром – двумя последними цифрами номера зачетной книжки. Всего 30 вариантов, начиная с номера 01 до номера 30.

По первой цифре шифра (предпоследней цифре номера зачетной книжки) в соответствии с таблицей 4 выбирается первая цифра номера варианта. Вторая цифра номера варианта равна второй цифре номера шифра (последней цифре номера зачетной книжки). В случае получившегося номера варианта «00» выбирается вариант №30. Например, две последние цифры номера зачетной книжки: 60. Тогда, в соответствии с таблицей 4, первая цифра номера варианта 0, а полный номер варианта – 00. Этой комбинации соответствует вариант 30. Если шифр 47, то первая цифра номера варианта 1, а вторая 7. Номер варианта 17.

Первая цифра шифра	Первая цифра номера варианта
0, 3, 6, 9	0
1, 4, 7	1
2, 5, 8	2

Исходные данные в таблице 1.1 приложения 1 представлены с сокращенным количеством потребителей электроэнергии. Необходимо дополнить исходную таблицу недостающими потребителями от 1 до 59 из таблицы 1.2 приложения 1 и представить ее с наименованием потребителей электроэнергии, как в таблице 1.2.

В случае прохождения практики на морском судне и при наличии информации по судовым потребителям электрической энергии допускается по согласованию с преподавателем выполнение курсового проекта на основе этой информации.

Выбор системы управления (системы возбуждения и автоматического регулирования напряжения) генераторного агрегата судовой электростанции производится в соответствии с ранее выбранным номером варианта из таблицы 1.3 приложения 1.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Величина нагрузки судовой электростанции в любой момент времени будет зависеть от количества потребителей, подключенных к данной электростанции и их потребляемой мощности, которая зависит от режима работы установки и от условий эксплуатации судна.

Характер изменения нагрузок судовой электростанции является случайным процессом и расчеты следовало бы выполнять с использованием вероятностного метода, но в настоящее время эта методика имеет ограниченное применение.

Для инженерных расчетов разработан табличный метод, основанный на составлении таблицы нагрузок электростанции. (см. приложение 1).

Порядок составления таблицы:

1. В графу 1 вписывают все потребители электроэнергии в соответствии с таблицей приложения 19, начиная с палубных механизмов, затем вносят механизмы, обслуживающие силовую установку (главные и вспомогательные дизели, котлы и т.п.), далее идут механизмы общесудовых систем (балластные, осушительные, фановые, санитарные и т.д.), бытовых приборов, радиотехнические потребители и освещение;

2. Имея данные судовых потребителей (количество одноименных потребителей, потребляемую мощность механизма, номинальную мощность электродвигателя, его КПД и $\cos\varphi$) заполняют графы 2,3,4,5,6 и 7;

3. В графу 8 вносят единичную мощность потребителя, которую определяют по формуле:

$$P_{ед} = k_u \cdot \frac{P_{э}}{\eta}.$$

где $k_u = P_m / P_{э}$ - коэффициент использования, который показывает загрузку электродвигателя в номинальном режиме работы. Этот коэффициент возникает из-за того, что не всегда удастся подобрать мощность электродвигателя по потребной мощности механизма. В этом случае устанавливают двигатель повышенной мощности.

Так, например, для привода насоса рулевой электрогидравлической машины необходим двигатель мощностью 7 кВт, но установлен двигатель номинальной мощностью 8 кВт. Такой двигатель будет использоваться только на 87,5%, т.е. его коэффициент использования в номинальном режиме работы рулевой машины $k_u = 0,875$.

$P_{э}$ - номинальная мощность электродвигателя или другого потребителя, кВт.

P_m - мощность, необходимая для привода механизма.

η - номинальный КПД потребителя.

Мощность таких потребителей как светильники, нагревательные элементы, зарядные устройства и т.п. вносят в графу 8 из графы 5 без пересчета.

Мощность радиотехнических приборов также переносится в графу 8 из графы 5.

Суммарную мощность определяют по формуле:

$$P_{сум} = P_{ед} \cdot n.$$

где n - количество потребителей данного наименования. Например, холодильники $n = 12$, рулевых машин 2, т.е. $n = 2$ и т.д. Суммарную мощность $P_{сум}$ вносят в колонку 9.

Далее определяют характерные режимы работы электростанции. В соответствии с требованиями Российского Морского Регистра судоходства России в расчете должны быть предусмотрены следующие режимы работы электростанции:

- ходовой;
- стояночный;
- снятие с якоря (шлюзование), обычно его называют маневренный или «маневры»;
- специальный, который связан с грузовыми работами, каким-то техническим процессом (промыслом, гидрографией, путевыми работами и т.п.)
- аварийный (при пожаре или получении судном пробоины).

Обычно в зависимости от типа судна предусматривают следующие режимы работы электростанции:

- для промысловых судов: переход на промысел, промысловый режим, переход с промысла с охлаждением трюма и кондиционированием, стояночный без охлаждения трюма, стояночный с охлаждением трюма и кондиционированием, стояночный с грузовыми операциями и без грузовых операций, маневренный и аварийный;
- для буксиров: ходовой режим с буксируемым караваном, иногда ходовой порожнем, стояночный, маневренный и аварийный;

- для ледоколов: ходовой в чистой воде, ходовой при форсировании льда, стояночный, маневренный и аварийный режим;
- для сухогрузов, танкеров и рефрижераторов: ходовой, стояночный баз грузовых операций, стояночный с грузовыми операциями, если на судне есть погрузочная техника (кран, грузовая стрела, грузовые насосы и т.п.), маневренный и аварийный;
- для пассажирских судов: стоянка без пассажиров, стоянка с пассажирами, ходовой, маневренный и аварийный режим;

У специальных судов могут добавляться другие режимы. Например, у заправщиков, бункеровщиков и т.п. нужно предусматривать технологический режим. У земснарядов, кранов и т.п. необходим режим работы электростанции при работе плавсредства по основному назначению.

В графы каждого режима вносят те потребители, работа которых необходима в этом режиме. При этом следует иметь в виду, что нагрузка электростанции по своему характеру бывает неодинаковая, поэтому ее разбивают на три категории: постоянно, периодически и эпизодически работающая.

Грань между этими категориями провести довольно трудно. Так, например, пожарный насос в аварийном режиме будет отнесен к постоянно работающей категории, в других режимах, когда он используется для бытовых целей (обмыва якорной цепи во время подъема якоря или мытья палубы, надстроек и т.п.) его следует относить к эпизодически работающим потребителям.

Каждые из режимов разбивают на пять граф-колонок: коэффициент одновременной работы одноименных потребителей, коэффициент загрузки, коэффициент мощности в данном режиме, активная мощность и реактивная мощность.

Коэффициент одновременной работы потребителей K_o показывает одновременную работу одноименных потребителей в данном режиме. Например, на судне установлено два компрессора, но в ходовом режиме достаточно работы одного, то в этом режиме в строке компрессор коэффициент одновременности будет равен 0.5, т.е. $K_o = 0,5$. На маневрах большой расход воздуха, поэтому включают оба компрессора ($K_o = 1$).

Коэффициент загрузки потребителя K_z отражает процент загрузки работающего в данном режиме потребителя электроэнергии.

Длительность работы потребителей электроэнергии в любом режиме может быть произвольной и, конечно, неодинаковой. Очевидно, что 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 или необходимость кратковременного включения дополнительных генераторов. Поэтому **мощность потребителей, работающих кратковременно, включается в таблицу в скобках**. Данные соображения не относятся к таким недлительным режимам, как аварийный, съёмка с якоря и т.п. В этих режимах нагрузки в скобках как правило, не должно быть. В режимах же стоянки, ходовом и пр. кратковременная нагрузка обязательно заключается в скобках.

Коэффициент K_z у одного и того же потребителя в разных режимах может быть разным. Например, центробежные насосы, вентиляторы, воздуходувки и т.п.

даже в номинальном режиме имеют коэффициент загрузки равный 0,9, компрессоры тоже близко к 0,9. Пожарный насос при работе по прямому назначению, т.е. в аварийном режиме определяют коэффициентом $K_z = 0,9$, но этот насос часто используют для бытовых целей, когда его производительность и давление умышленно снижают, поэтому в этом случае $K_z = 0,5 \dots 0,6$. Коэффициент загрузки освещения обычно принимают равным (0,5...0,8) в зависимости от времени суток, но в настоящее время разбивку режима работы на день и ночь делают в редких случаях, так как это не вносит существенных погрешностей в расчет. Например, на туристических судах с большим коэффициентом комфортабельности иногда эту разбивку делать рационально, но даже в этом случае часто потребление энергии освещением ночью, компенсируется потреблением энергии камбузным оборудованием и вентиляцией днем.

Коэффициент мощности каждого потребителя в любом режиме зависит от коэффициента загрузки K_z - чем меньше K_z , тем меньше и $\cos\varphi$ данного потребителя. $\cos\varphi$ данного режима, т.е. снижение $\cos\varphi$ от номинального значения можно определить по кривой $\cos\varphi = f(K_z)$. Необходимо отметить, что η тоже зависит от K_z , но в меньшей степени, поэтому его отдельно не учитывают при относительно высоких значениях K_z .

Кривые зависимости $\cos\varphi = f(K_z)$ приведены в приложении 2.

Следует учитывать, что при люминесцентном освещении $\cos\varphi = 0,7$.

Активную мощность определяют по формуле:

$$P = P_{\text{сум}} \cdot K_o \cdot K_z.$$

Реактивную мощность вычисляют по формуле:

$$Q = P \cdot \operatorname{tg}\varphi.$$

где $\operatorname{tg}\varphi$ определяют по $\cos\varphi$ потребителя в данном режиме, т.е. с учетом K_z по графам 12,17,22,27 и 32 соответственно.

Затем приступают к суммированию потребителей мощности, т.е. суммируют значения по графам 13 и 14, 18 и 19, 23 и 24, 28 и 29, 33 и 34 (см. таблицу нагрузок, приложение .1.).

После этого определяют суммарные активную и реактивную мощность без учета эпизодической нагрузки (P_1 и Q_1).

Для удобства подведения итогов эпизодическую нагрузку в таблице заключают в скобки.

Расчетную нагрузку получают умножением суммарной нагрузки P_1 и Q_1 на общий коэффициент одновременности k'_o , который учитывает одновременную работу всех потребителей данного режима и берется в пределах (0,6...1,0) в зависимости от режима и состава потребителей. Если в данном режиме большинство потребителей относятся к категории постоянно работающих, то коэффициент k'_o берется более высоким. Если же большинство потребителей относится к потребителям периодически работающим, то его нужно брать меньше. Обычно в ходовом и аварийном режимах этот коэффициент принимают (0,9...1,0), а в остальных режимах (0,7...0,8), а иногда и меньше:

$$P'_{\text{расч}} = k'_o \cdot P_1.$$

$$Q'_{\text{расч}} = k'_o \cdot Q_1.$$

Полученные результаты умножают на коэффициент k_c учитывающий потери электроэнергии в сети, который считают равным (1,03...1,05). Эти потери зависят от относительной протяженности сетей и величины напряжения.

Окончательно расчетные мощности будут равны:

$$P_{\text{расч}} = k_c \cdot P'_{\text{расч}}.$$

$$Q_{\text{расч}} = k_c \cdot Q'_{\text{расч}}.$$

$$S_{\text{расч}} = \sqrt{P_{\text{расч}}^2 + Q_{\text{расч}}^2}.$$

Средневзвешенный коэффициент мощности $\cos\varphi_{\text{ср.взв.}}$ определяется как отношение активной расчетной мощности к полной мощности:

$$\cos\varphi = \frac{P_{\text{расч}}}{S_{\text{расч}}}.$$

Если $\cos\varphi_{\text{ср.взв.}}$ получится равным или больше $\cos\varphi_n$, генераторы выбирают по активной мощности $P_{\text{расч}}$, если меньше $\cos\varphi_n$ - по полной $S_{\text{расч}}$.

Обычно $\cos\varphi_{\text{ср.взв.}}$ получается выше $\cos\varphi_n$ генератора.

где $\cos\varphi_n$ - номинальный коэффициент мощности выбираемого генератора.

2.ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА И МОЩНОСТИ ГЕНЕРАТОРОВ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Выбор количества и мощности генераторов судовой электростанции осуществляют по итоговым значениям нагрузки в различных режимах работы. При выборе намечают несколько вариантов по составу генераторов и производят анализ этих вариантов. Вариант с минимальным количеством типоразмеров и наибольшей загрузкой в различных режимах является наилучшим, желательно иметь на судне все генераторы одного типоразмера, но это не всегда удастся. Поэтому при выборе нужно учитывать как типоразмер, так и загрузку генераторов в различных режимах работы электростанции. Загрузка генераторов должна быть в пределах (70.. .80)%. В длительных режимах работы (ходовой) нужно стремиться к тому, чтобы загрузка была (80.. .90)%, в таких режимах, как стоянка можно этот коэффициент уменьшить до (60...70)%, если это целесообразно, исходя из уменьшения типоразмеров различных мощностей генераторов. Хорошей загрузки генераторов, как правило, удастся получить, применяя параллельную их работу.

Иногда целесообразна установка стояночного генератора, когда стоянка судна длительна, а необходимая мощность генератора значительно отличается от мощности генераторов, работающих в других режимах.

Иногда стояночные генераторы устанавливают из-за соображения экономии моторесурса основных генераторов, особенно приводных дизелей, так как эти ге-

нераторы могут быть менее автоматизированы и стоимость их в отдельных случаях значительно ниже, к тому же, если стоянки судов длительны.

На некоторых современных судах устанавливают мощные подруливающие устройства, поэтому в этом случае при маневрах потребляется значительно больше энергии, чем в других режимах. Эту потребность лучше всего закрыть применением параллельной работы, но иногда приходится устанавливать дополнительный генератор.

В составе электростанций должен быть предусмотрен резервный генератор, мощность которого должна быть достаточна, чтобы обеспечить ходовой и аварийный режимы работы в случае выхода из строя одного из основных генераторов.

На судах, имеющих высокий коэффициент ходового времени (транспортные рефрижераторы, буксиры, нефтеналивные суда и т.п.) целесообразна установка валогенератора, если отбор мощности составляет не более (10...15)% от мощности главного двигателя. На некоторых промысловых судах валогенераторы продолжают использоваться для питания электроприводов траловых лебедок. Валогенераторы позволяют экономить топливо, моторесурс вспомогательных дизелей, улучшают условия обитаемости (снижается шум, вибрация и т.п.), но при этом усложняется схема генерирования (схема резервирования) и надежность электроснабжения ответственных потребителей (особенно рулевого привода, сигнально-отличительных огней, электрорадионавигационных приборов) снижается, поэтому установку валогенератора нужно определять исходя из вышеизложенных соображений.

Мощность электроэнергетических систем должна учитывать рост мощности потребляемой энергии. Опыт показывает, что в течение эксплуатационного периода судна устанавливают дополнительные потребители электроэнергии или мощность отдельных из них увеличивается. Поэтому судовые электростанции должны иметь резерв мощности, который на (20...30)% перекрывал бы расчетные потребности.

После выбора генераторов необходимо выписать все их параметры, необходимые для расчета токов короткого замыкания и провалов напряжения.

При выборе генераторов необходимо отдавать предпочтение бесщеточным генераторам серии БГ или генераторам серии 2СН, т.к. эти генераторы имеют лучшие массогабаритные показатели и требуют меньших затрат на ремонт и обслуживание из-за отсутствия контактных колец и щеточного аппарата.

В крайнем случае можно применять генераторы серии МСС, МСК, и ГСС. (см. приложение 3).

3. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Расчет электрических сетей необходимо вести в следующей последовательности.

3.1. Определяют расчетный ток потребителя:

а) для кабеля, питающего двигатель постоянного тока

$$I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot K_3 \cdot 10^3}{\eta \cdot U_{\text{ном}}}.$$

б) для кабеля, питающего двигатель переменного трехфазного тока

$$I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot K_3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta \cdot \cos\varphi}.$$

в) для нагревательных трехфазных приборов

$$I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot K_3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}.$$

г) для освещения, нагревательных приборов, приборов радионавигации и другого радиооборудования, как переменного тока, так и постоянного

$$I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot 10^3}{U_{\text{ном}}}.$$

где $P_{\text{ном}}$ - номинальная мощность в кВт, берется из таблицы нагрузок судовой электростанции.

K_3 - коэффициент загрузки берется также из таблицы нагрузки, только из той графы, в которой он имеет наибольшее значение.

$U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение, В.

η - к.п.д.

$\cos\varphi$ - коэффициент мощности, определяется по таблице нагрузок.

3.2. Зная расчетный ток, режим работы потребителя и способ прокладки кабеля определяют сечение токопроводящей жилы кабеля по соответствующей таблице (смотри приложение 4), учитывая марку и число жил кабеля (смотри приложение 5).

В основном большинство потребителей работают в длительном режиме, кратковременный режим характерен для брашпиля, шпиля, буксирной и шлюпочной лебедки, швартовой лебедки, тельферов МО и других. Повторно-кратковременный режим обычно у кранов и грузовых стрел и некоторых специальных механизмов.

Необходимо учитывать некоторые способы прокладки кабелей, которые ухудшают теплоотвод от токопроводящей жилы (прокладка в пучке, трубе, желобах). Также следует учитывать температуру окружающей среды, число жил кабеля и конечно марку кабеля.

В настоящее время рекомендуется кабели с поливинилхлоридной и полиэтиленовой изоляцией токопроводящей жилы, которые допускают повышенную температуру (смотри приложение 4, таблицы 1 - 4).

3.3. Выбранный кабель необходимо проверить на потерю напряжения по следующим формулам:

а) для постоянного тока

$$\Delta U\% = \frac{2 \cdot I_{\text{расч}} \cdot l \cdot R}{U} \cdot 100.$$

б) для однофазного переменного тока

$$\Delta U\% = \frac{2 \cdot I_{\text{расч}} \cdot l}{U_{\text{л}}} \cdot (R \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) \cdot 100.$$

в) для трехфазного переменного тока

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{расч}} \cdot l}{U_{\text{л}}} \cdot (R \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) \cdot 100.$$

где $I_{\text{расч}}$ - расчетный ток нагрузки кабеля, А.

l - длина кабеля, м (приводится в задании или берется с судна – прототипа).

U - номинальное напряжение сети, В.

$U_{\text{л}}$ - линейное напряжение сети, В.

R - активное сопротивление одной токопроводящей жилы кабеля при допустимой температуре кабеля с учетом влияния частоты тока, Ом/м. Активное и индуктивное сопротивления берутся из таблицы (см. приложение 7).

Активное сопротивление должно быть приведено к температуре, которая допустима для выбранной марки кабеля по формуле:

$$R_t = R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (\theta - 20)].$$

где R_t - сопротивление при температуре кабеля, Ом/м.

R_{20} - сопротивление при температуре 20°C, взятое из таблицы (см. приложение 6).

$\alpha = 0,004$ - температурный коэффициент для меди.

В инженерных расчетах часто не учитывают индуктивное сопротивление, особенно при кабелях относительно малого сечения, когда ошибка составляет небольшую величину, поэтому можно применять следующие формулы:

а) для постоянного тока

$$\Delta U\% = \frac{2 \cdot P \cdot l \cdot 10^5}{U^2 \cdot \gamma \cdot s}.$$

б) для однофазного переменного тока

$$\Delta U\% = \frac{2 \cdot I_{\text{расч}} \cdot l \cdot 10^5}{U^2 \cdot \gamma \cdot s}.$$

в) для трехфазного переменного тока

$$\Delta U\% = \frac{P \cdot l \cdot 10^5}{U^2 \cdot \gamma \cdot s}.$$

Однако, начиная с сечения 70 мм² при частоте 50 Гц пренебрегать X_L не следует.

где $\gamma = 48 \frac{\text{м}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}$ - удельная проводимость меди.

S - сечение токопроводящей жилы, мм².

3.4. Расчет необходимо свести в таблицу (смотри приложение 8).

4.ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЭЭС ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Правильный расчет токов короткого замыкания (Т.К.З.) при проектировании обеспечивают надежность работы СЭЭС в целом. Ошибки в оценки Т.К.З. могут привести к тяжелым авариям: пожару, разрушению отдельного оборудования, ложным срабатываниям защиты, сильному снижению напряжения, нарушению устойчивой работы генераторов и т.п.

По результатам расчетов Т.К.З. производят выбор системы распределения электроэнергии, проверку и выбор аппаратов по коммутационной способности, расчет электродинамических сил, действующих в токоведущих частях, проверку на термическую устойчивость шинопроводов и кабелей и т.д.

Исследование К.З. применением точных аналитических методов не всегда целесообразно, поэтому в инженерных расчетах дают хорошие оптимальные результаты, приближенные методы: упрощенный аналитический метод и метод расчетных кривых.

В курсовом проекте можно использовать метод расчетных кривых, или упрощенный аналитический метод.

Расчет выполняют в соответствии с рекомендациями отраслевого стандарта «Судовые электроэнергетические системы. Методы расчета переходных процессов» (ОСТ5.6181-81).

Начинать расчет Т.К.З. необходимо с выбора режима работы СЭЭС, определение, точек К.З., и установление величин, необходимых для расчета. Режим работы СЭЭС выбирается в самых тяжелых условиях, когда работает наибольшее количество генераторов в параллели, также асинхронных и синхронных двигателей и машинных преобразователей. Допускается не учитывать кратковременную параллельную работу генераторов для перевода нагрузки, кроме судов поднадзорных Регистру.

За расчетную точку К.З. необходимо выбирать точку так, чтобы через проверяемый участок проходил наибольший ток. В проекте необходимо наметить следующие точки К.З.:

- на шинах ГРЩ для проверки генераторных автоматов;
- после автомата самого мощного потребителя, для проверки его защиты;
- и у маломощного наиболее удаленного потребителя для проверки чувствительности защитного аппарата этого фидера.

Расчетным видом К.З. в СЭЭС является трехфазное металлическое К.З. Сопротивление в месте К.З. не учитывается. Расчет можно выполнять как в именованных единицах, так и в относительных (последний метод рекомендован ОСТ).

4.1. При выполнении расчета в о.е. все расчетные величины выражаются в о.е., приведенных к базисным условиям:

$$E^* = \frac{E}{E_6}; \quad U^* = \frac{U}{U_6}; \quad I^* = \frac{I}{I_6} \text{ и т.д.}$$

Расчет токов К.З. ведут в следующей последовательности:

1. Составляют исходную расчетную схему, содержащую номинальные параметры всех элементов. Наносят точки К.З.

2. Составляют схему замещения, на которой все сопротивления (индуктивное и активное) отдельных элементов схемы (генераторов, кабелей, а иногда и шин щитов, трансформаторов тока, переходных сопротивлений контактных соединений и т.п.). Сопротивления выражают в о.е., приведенных к базисным условиям. В проекте можно ограничиться сопротивлением генераторов и кабелей.

3. Преобразовывают схему замещения для каждой точки К.З. и находят результирующее сопротивление $Z_{рез}$.

4. По отношению $x_{рез}/r_{рез}$ по кривой (см. приложение 9) находят ударный коэффициент $K_{уд}$.

5. По расчетным кривым (приложения 10, 11 или 12) в зависимости от $Z_{расч}$ определяют действующие значения токов К.З. в относительных единицах для моментов времени от $t = 0$ до $t = 1$ с.

6. Находят ток подпитки двигателей и других вращающихся потребителей.

7. Определяют ударный ток К.З. в о.е. и амперах.

8. Определяют действующие значения токов в определенный момент времени в амперах в зависимости от времени срабатывания защитной аппаратуры.

Обычно задаются базисной мощностью, за которую принимают суммарную мощность всех работающих в самом тяжелом режиме генераторов:

$$S_6 = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n, \text{ кВА}$$

За базисное напряжение принимают номинальное напряжение генератора:

$$U_6 = U_{ном}, \text{ В}$$

Затем определяют базисный ток:

$$I_6 = \frac{S_6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_6}, \text{ А}$$

Далее определяют базисные сопротивления:

1. Если сопротивление дано в Омах, то его определяют: $Z_6 = \sqrt{r_6^2 + x_6^2}$, или $Z_6 = Z \cdot \frac{S_6}{U_6^2}$, если Z задано в Омах.

2. Если сопротивление задано в о.е., приведенных к номинальным параметрам (мощности и напряжению), то их пересчитывают, приводя к новым базисным условиям по формулам:

$$Z_6 = Z_{ном} \cdot \frac{S_6}{S_{ном}},$$

$$r_6 = r_{ном} \cdot \frac{S_6}{S_{ном}},$$

$$x_{\sigma} = x_{\text{ном}} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{\text{ном}}}.$$

Если активное сопротивление фазы статора генератора или синхронного двигателя дано при температуре, отличной от 348 К (75⁰С), оно должно быть приведено к указанной температуре по формуле:

$$r_{348} = r_T \cdot [1 + 0,004 \cdot (348 - T)],$$

где **T** – температура обмотки в Кельвинах.

Активные и индуктивные сопротивления кабелей определяются по формулам:

$$r_{\text{каб}} = \frac{r_{1\text{м}} \cdot l_{\text{каб}}}{n}, \text{ м} \cdot \text{Ом}$$

$$x_{\text{каб}} = \frac{x_{1\text{м}} \cdot l_{\text{каб}}}{n}, \text{ м} \cdot \text{Ом}$$

где **r_{1м}** и **x_{1м}** – активное и индуктивное сопротивления 1 метра кабельной линии, проведенной к одной фазе, мОм;

l_{каб} – длина кабельного участка, м;

n – число параллельных ветвей (часто, особенно в фидере генератора, для его подключения используют два и более параллельных кабелей).

Температура жил кабелей принимается для главных цепей (фидеры генераторов, главного тока ГЭУ и т.п.) равной температуре данной марки кабеля при дополнительной нагрузке, для кабелей распределительных сетей – равной 293 К.

Активные и индуктивные сопротивления шин, автоматических выключателей, переходных сопротивлений контактных соединений и других элементов цепи можно взять из справочных приложений.

Сопротивления трансформаторов схемы замещения необходимо привести к одной ступени напряжения, принятой за базовую.

Для упрощения схемы замещения можно поступить следующим образом:

- если схема полностью симметрична относительно оси К.З. (одинаковые сопротивления генераторов, одинаковые сопротивления линий и т.д.), то ее можно сложить по оси симметрии, мощности и токи источников складываются алгебраически, а сопротивления – параллельно:

$$S_{\Sigma} = S_{r1} + S_{r2} + \dots + S_{rn} ,$$

$$P_{\Sigma} = P_{r1} + P_{r2} + \dots + P_{rn} ,$$

$$I_{\Sigma} = I_{r1} + I_{r2} + \dots + I_{rn} ,$$

$$r_{\Sigma} = 1/q_{\Sigma} ,$$

$$x_{\Sigma} = 1/b_{\Sigma} ,$$

$$q_{\Sigma} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n} ,$$

$$b_3 = \frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_n}.$$

индекс "э" означает эквивалентный.

- при различных генераторах, работающих в параллель, или различных сопротивлениях их фидеров, $r_{г1}$, $x_{д1}''$, $x_{д1}'$ и $x_{д1}$ суммируются и сопротивления их фидеров, приведенных к единым базисным условиям:

$$1/Z_3 = 1/Z_1'' + 1/Z_2'' + \dots + 1/Z_n'',$$

где $Z_1'' = r_{г1} + j \cdot x_{г1}''$,

$Z_2'' = r_{г2} + j \cdot x_{г2}''$ и т.д.

Отсюда r_3 равно вещественной части Z_3'' , а $x_{д3}''$ - мнимой части Z_3'' .

При параллельной работе генераторов:

$$r_3 = \frac{r_{г2} \cdot (r_{г1}^2 + x_{г1}^2) + r_{г1} \cdot (r_{г2}^2 + x_{г2}^2)}{(r_{г1} + r_{г2}) + (x_{г2}'' + x_{г1}'')},$$

$$x_{д3}'' = \frac{x_{г2} \cdot (r_{г1}^2 + x_{г1}^2) + x_{г1} \cdot (r_{г2}^2 + x_{г2}^2)}{(r_{г1} + r_{г2}) + (x_{г2}'' + x_{г1}'')}.$$

Если в параллели работают несколько генераторов, то r_3 и $x_{д3}''$ откладываются попарным свертыванием, т.е. сперва определяются r_3 и $x_{д3}''$ двух генераторов, затем к полученным r_{31} и $x_{д31}''$ суммируется третий и т.д..

Аналогично определяются $x_{д3}'$ и $x_{д3}$.

Величины r_3 , $x_{д3}''$, $x_{д3}'$ и $x_{д3}$ в инженерных расчетах часто определяют приближенно, а именно:

- когда отношение $x/2$ отдельных генераторов примерно равны, то указанные параметры определяют по формулам:

$$1/r_3 = 1/r_{г1} + 1/r_{г2} + \dots + 1/r_n,$$

$$1/x_{д3}'' = 1/x_{дг1}'' + 1/x_{дг2}'' + \dots + 1/x_{дгn}'' \text{ и т.п.}$$

- когда $x/2$ отдельных генераторов отличается друг от друга, то поступают следующим образом:

$$r_3 = \frac{r_{г2} \cdot x_{дг1}''^2 + r_{г1} \cdot x_{дг2}''^2}{(x_{дг2}'' + x_{дг1}'')^2},$$

$$x_3'' = \frac{x_{дг1}'' \cdot x_{дг2}''}{x_{дг2}'' + x_{дг1}''}.$$

Необходимые для расчета аналитическим методом постоянные времени эквивалентного генератора T_{d3}'' и T_{d3}' , а также величины установившегося тока К.З. на зажимах генератора $I_{\infty 3}$, определяются как средневзвешенные значения:

$$a_3 = \frac{a_1 \cdot S_{r1} + a_2 \cdot S_{r2} + \dots + a_n \cdot S_{rn}}{S_{r1} + S_{r2} + \dots + S_{rn}},$$

где под "а" понимается величина T_{d3}'' , T_{d3}' или $I_{\infty 3}$ и т.д.

для расчета аналитическим методом надо определить сверхпереходную E_o'' и переходную E_o' Э.Д.С. генераторов:

$$E_o'' = \sqrt{(U_o \cdot \cos \varphi_o + I_o \cdot r)^2 + (U_o \cdot \sin \varphi_o + I_o \cdot x_d'')^2},$$

$$E_o' = \sqrt{(U_o \cdot \cos \varphi_o + I_o \cdot r)^2 + (U_o \cdot \sin \varphi_o + I_o \cdot x_d')^2}.$$

или приближенно:

$$E_o'' = U_o + I_o \cdot x_d'' \cdot \sin \varphi_o,$$

$$E_o' = U_o + I_o \cdot x_d' \cdot \sin \varphi_o.$$

4.2.Метод расчетных кривых.

4.2.1.Необходимые для расчета исходные данные приведены в таблице:

наименование	обозначение	источник информации
Для каждого генератора		
1.тип	—	Из раздела 1.
2.точная номинальная мощность, кВА	$S_{н.г}$	Приложение ...
3.номинальное напряжение, В	U_n	То же
4.номинальный ток, кА	$I_{н.г}$	То же
5.активное сопротивление обмотки статора, о.е.	$r_{г}$	—//—
6.сверхпереходное индуктивное сопротивление по продольной оси, о.е.	x_d''	—//—
Для эквивалентного двигателя		
7.номинальная мощность, кВт	$P_{э.д}$	Таблица нагрузок
8. номинальный ток, кА	$I_{э.д}$	Определяется расчетом
9. активное сопротивление, о.е.	$r_{с.д}$	Приложение...
10. переходное индуктивное сопротивление по продольной оси, о.е.	x_s'	—//—
Для цепи генератора (генератор – ГРЩ)		
11. суммарное активное сопротивление, мОм	r	из схемы замещения
12. суммарное индуктивное сопротивление, мОм	x	—//—
Для цепи от ГРЩ до точки К.З.		
13. суммарное активное сопротивление, мОм	r_k	—//—
14. суммарное индуктивное сопротивление, мОм	x_k	—//—

4.2.2. Схема замещения преобразовывается к лучевому виду.

Однотипные генераторы заменяются одним эквивалентным. Расчет для каждого луча производят отдельно. Сопротивление каждого луча выражается в о.е. генератора или двигателя данного луча:

$$Z_{p1} = Z_p \frac{Z_6}{Z_{61}}.$$

где Z_{p1} – сопротивление в о.е. данного луча;

Z_p – то же сопротивление в базисных о.е.;

Z_6 – базисное сопротивление для всей схемы, кОм;

Z_{61} – базисное сопротивление для данного луча, кОм.

4.2.3. По расчетным кривым соответствующего генератора (приложения ...) для значений $Z_p = Z_p''$ данной цепи определяются действующие значения периодических составляющих тока К.З. от данного (эквивалентного) генератора – $I_{гг}$ для любого момента времени t от 0 до 1с.

4.2.4. Ударный ток для каждого генератора определяется по формуле:

$$i_{уд.г} = (I_{0,01} + I_{0p})\sqrt{2},$$

где p – коэффициент затухания апериодической составляющей определяется по кривой $p = f(X/r)$ (приложение ...).

4.2.5. Если в расчете окажется $Z_p > 1,2$ о.е., то величина тока К.З. практически не измерима в течение всего процесса К.З. и определяется $I_t = 1/Z_k$, где Z_k – полное сопротивление от ГРЩ до точки К.З.:

$$Z_k = \sqrt{r_k^2 + x_k^2}.$$

Ударный ток в этом случае равен:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \frac{1}{Z_k}.$$

4.2.6. Действующее значение периодической составляющей тока К.З. от эквивалентного асинхронного двигателя $I_{уд}$ определяют по расчетным кривым (приложения ...) в зависимости от $Z_p = Z_{p.д} = \frac{1}{5} \cdot \frac{S_6}{S_n}$.

Для случая К.З. на шинах ГРЩ значения периодической составляющей:

t, с	0	0,01	0,03	0,04	0,05
$I_{т.д}$, о.е.	5,0	2,8	0,9	0,5	0,3

4.2.9. Ударный ток от эквивалентного двигателя в его о.е. будет:

$$i_{уд.д} = (I_{0,01} + I_{0p})\sqrt{2}$$

где p – коэффициент затухания апериодической составляющей, определяемой по кривой $p = f(X/r)$ (приложение ...).

При К.З. на шинах ГРЩ $i_{уд} = 7,8$ о.е.

4.2.10. Ток в кА определяется умножением $I_{т.д}$ или $i_{уд.д}$ на номинальный ток эквивалентного двигателя $I_{э.д}$.

4.2.11. Ток в точке К.З. (общий ток) $I_{т.з}$ равен алгебраической сумме токов их лучей схемы для соответствующих моментов времени. Ударный ток равен сумме ударных токов.

4.3. Аналитический метод.

4.3.1. Необходимые для расчета данные:

наименование	обозначение	источник информации
Для каждого генератора		
1. тип	—	По данным таблицы нагрузок
2. полная номинальная мощность, кВА	$S_{н.г}$	Приложение ...
3. номинальное напряжение, В	U_n	—//—
4. номинальная частота, Гц	f	—//—
5. номинальный ток, кА	$I_{н.г}$	—//—
6. активное сопротивление обмотки статора, о.е.	r_g	—//—
7. сверхпереходное индуктивное сопротивление по продольной оси, о.е.	x_d''	—//—
8. переходное индуктивное сопротивление по продольной оси, о.е.	x_d'	—//—
9. синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси, о.е.	x_d	—//—
10. сверхпереходная постоянная времени по продольной оси, с.	T_d''	—//—
11. постоянная времени обмотки возбуждения при разомкнутой обмотке статора, с.	$T_{\mathcal{A}}$	—//—
12. установившееся значение тока К.З. на зажимах генератора, о.е.	$I_{ог}$	—//—
Для асинхронного двигателя (эквивалентного)		
13. номинальная мощность, кВт	$P_{э.д}$	По данным таблицы нагрузок
14. номинальный ток, кА	$I_{э.д}$	Определяется расчетом
15. активное сопротивление, о.е.	$r_{с.д}$	Приложение ...
16. переходное индуктивное сопротивление по продольной оси, о.е.	$x_{сд}'$	—//—
17. индуктивное сопротивление обмотки статора, о.е.	$x_{сд}$	—//—
18. коэффициент магнитной связи обмоток статора и ротора	μ	—//—
19. постоянная времени обмотки ротора, с.	T_r	—//—
20. переходная постоянная времени обмотки ротора, с.	T_r'	—//—
Для цепи генератора (генератор – ГРЩ)		
21. суммарное активное сопротивление, мОм	r	Определяется из схемы замещения
22. суммарное индуктивное сопротивление, мОм	x	—//—
Для цепи ГРЩ до точки К.З.		
23. суммарное активное сопротивление, мОм	r	—//—
24. суммарное индуктивное сопротивление, мОм	x	—//—

4.3.2. Схема замещения преобразовывается к лучевому виду, как при методе расчетных кривых. Расчет тока К.З. для каждого луча производится отдельно в базисных о.е. всей схемы, или в о.е. каждого луча отдельно.

4.3.3. Определение тока К.З. от синхронного генератора.

4.3.3.1. Определяем начальное значение сверхпереходного тока в о.е.:

$$I_o'' = \frac{E_o''}{Z_p''},$$

где для одиночного генератора:

$$E_o'' = \sqrt{(U_o \cdot \cos \varphi_o + I_o \cdot r)^2 + (U_o \cdot \sin \varphi_o + I_o \cdot x_d'')^2},$$

или приближенно:

$$E_o'' = U_o + I_o \cdot x_d'' \sin \varphi_o.$$

где U_o , I_o , $\sin \varphi_o$, $\cos \varphi_o$ – напряжение, ток, угол сдвига между ними для предшествующего режима К.З. По этим формулам можно определить E_o'' и для эквивалентного генератора при отсутствии в их цепях значительных сопротивлений (например, реакторов). При значительных сопротивлениях и параллельной работе двух генераторов $E_{o\sigma}''$ можно определить:

$$E_{o\sigma}'' = \sqrt{E_{акт}''^2 + E_{реакт}''^2},$$

где $E_{акт}'' = A(E_{o1}''r_2 + E_{o2}''r_1) + B(E_{o1}''x_{d2}'' + E_{o2}''x_{d1}'')$,

$$E_{акт}''^2 = A(E_{o1}''r_2 + E_{o2}''r_1) - B(E_{o1}''r_2 + E_{o2}''r_1),$$

$$A = \frac{r_1 + r_2}{(r_1 + r_2)^2 + (x_{d1}'' + x_{d2}'')^2},$$

$$B = \frac{x_{d1}'' + x_{d2}''}{(r_1 + r_2)^2 + (x_{d1}'' + x_{d2}'')^2}.$$

4.3.3.2. Определяем начальное значение периодической составляющей тока в о.е.:

$$I_o' = \frac{E_o'}{Z_p'},$$

E_o' определяется аналогично пункту 4.3.3.1. с заменой в формулах E_o'' на E_o' , x_d'' на x_d' .

При отсутствии значения $I_{\infty\Gamma}$ его можно определить по формуле:

$$I_{\infty\Gamma} = OKЗ \cdot i_{\chi \text{ пред}},$$

где ОКЗ – отношение короткого замыкания,

$i_{\chi \text{ пред}}$ - предельный ток возбуждения, о.е.

Значение ОКЗ и $i_{\chi \text{ пред}}$ можно взять в приложении

4.3.3.3. Периодическая составляющая тока К.З. (действующее значение) для любого значения времени t определяется по формуле:

$$I_t = (I_o'' - I_o') \cdot e^{-\frac{1}{T''}} + (I_o' - I_{\infty}) \cdot e^{-\frac{1}{T'}} + I_{\infty},$$

где $T'' = T_d'' \frac{x_d' x_{ГК}'' + r_{ГК}'^2}{x_d'' x_{ГК}' x_{ГК}'' + r_{ГК}'^2}$ - постоянная времени затухания сверхпереходного

процесса. При К.З. на зажимах генератора $T'' = T_d''$,

$T' = T_{\chi}' \frac{x_{ГК}' x_{ГК}'' + r_{ГК}'^2}{x_{ГК}''^2 + r_{ГК}'^2}$ - постоянная времени затухания переходного процесса.

При К.З. на зажимах генератора $T' = T_d'$.

Значение e^{-x} можно взять в приложении

4.3.3.4. Периодическая составляющая тока К.З. в течение первых 2...3 периодов может быть определена по упрощенной формуле:

$$I_t = (I_o'' - I_o') \cdot e^{-\frac{1}{T''}} + I_o',$$

4.3.3.5. Напряжение генератора при предельном токе возбуждения $U_{\Gamma} = I_t Z_k$.

Если получается, что $U_{\Gamma} > 1$, то это значит, что генератор работает в режиме номинального напряжения при токе возбуждения $i_{\chi} \leq i_{\chi \text{ пред}}$, т.е. $U_{\Gamma} = 1$ и

$$I_t = 1/Z_k.$$

4.3.3.6. Полный ток К.З. (амплитудное значение) для момента времени t определяют по формуле:

$$i_{t\max} = \sqrt{2}(I_t + I_o'' \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}),$$

где T_a – постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока К.З. которая равна:

$$T_a = \frac{x_{ГК}''}{\omega \cdot r_{ГК}'},$$

где ω – угловая частота, $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$.

4.3.3.7. Ударный ток $i_{уд.г}$ определяется по формуле § 4.3.3.6. для момента $t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f}$, т.е. $t = 0,01$ с при частоте 50 Гц, где T – период, 1/с.

4.3.3.8. Ток в кА определяется умножением I_{Γ} или $i_{\text{уд.}\Gamma}$ на базисный ток I_6 .

4.3.4. Определяется ток от асинхронного двигателя.

4.3.4.1. Ток подпитки от асинхронного двигателя следует учитывать только в первых трех периодах, т.к. в последующих периодах E его станет ниже U_{Γ} .

4.3.4.2. Начальное значение периодической составляющей тока К.З. определяется:

$$I'_{\text{од}} = \frac{U_o}{Z'_{\text{р.д}}},$$

где $U_o = 0,95 \cdot U_{\Gamma}$.

4.3.4.3. Периодическая составляющая тока К.З. (действующее значение) для момента времени t определяется по формуле:

$$i_{\text{тд}} = I'_{\text{од}} \cdot e^{-\frac{t}{T'_{\text{ге}}}},$$

где $T'_{\text{ге}}$ - постоянная времени затухания переходного процесса. При К.З. на зажимах двигателя $T'_{\text{ге}} = T'_{\Gamma}$. При К.З. за сопротивлением:

$$T'_{\text{ге}} = T'_{\Gamma} \frac{x'_{\text{дк}} x_{\text{дк}} + r_{\text{дк}}^2}{x_{\text{дк}}^2 + r_{\text{дк}}^2}.$$

4.3.4.4. Амплитудное значение полного тока К.З. для времени t может быть определено по формуле:

$$i_{\text{тдmax}} = \sqrt{2} \left(I_{\text{тд}} + \frac{U_o}{Z'_{\text{рд}}} \cdot e^{-\frac{t}{T'_{\text{се}}}} \right)$$

где $T'_{\text{се}}$ - постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока К.З., $T'_{\text{се}} = \frac{x'_{\text{дк}}}{\omega \cdot r_{\text{дк}}}$.

4.3.4.5. Ударный ток $i_{\text{уд.д}}$ определяется как в § 4.3.4.4. для момента времени $t = T/2$. т.е. 0,01с.

4.3.4.6. Ток в амперах (кА) определяется умножением $I_{\text{тд}}$ или $i_{\text{уд.д}}$ на базисный I_6 .

В случае К.З. на шинах ГРЩ значение периодической составляющей тока К.З. эквивалентного двигателя определяется по таблице (смотри метод расчетных кривых). В этом случае ударный ток $i_{\text{уд.д}} = 7,8$ о.е., а ток в амперах определяется умножением на $I_{\text{эд}}$.

4.3.4.7. Все токи в точке К.З. определяются алгебраическим суммированием токов всех лучей схемы для соответствующих моментов времени.

4.4. Приведем пример расчета токов К.З. без численных данных для функциональной схемы (рис 1а.)

4.4.1. Составим схему и нанесем на нее точки К.З.

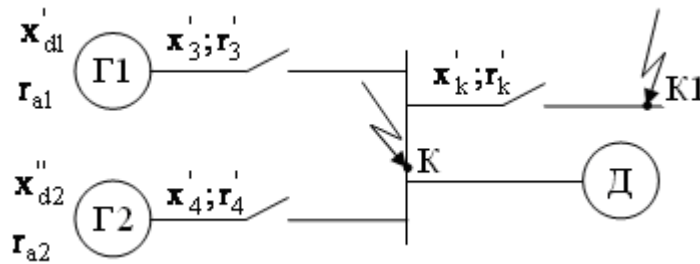


Рис.1а

4.4.2. Определим базисную мощность:

$$S_6 = S_1 + S_2, \text{ кВА}$$

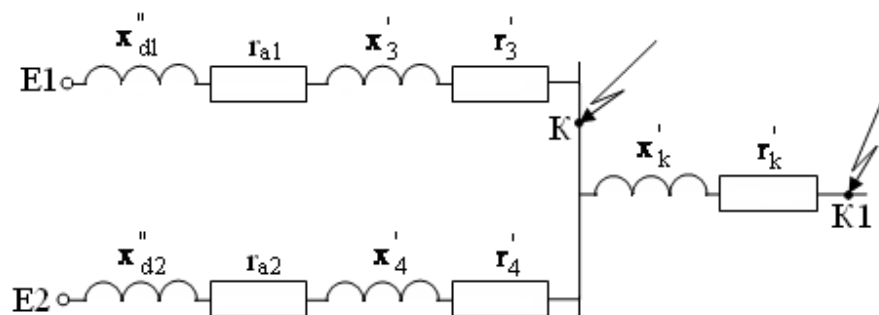
4.4.3. Определим базисное напряжение:

$$U_6 = U_{\text{ном}}, \text{ В}$$

4.4.4. Определяем базисный ток:

$$I_6 = \frac{S_6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_6}, \text{ А}$$

4.4.5. Составим схему замещения: Рис.1б



4.4.6. Определим сопротивления участков, выразив в о.е., приведенных к базисным условиям:

$$r_1 = r_{a1} \frac{S_6 \cdot 10^3}{U_6^2},$$

$$r_2 = r_{a2} \frac{S_6 \cdot 10^3}{U_6^2},$$

где r_{a1} и r_{a2} – активные сопротивления генераторов в Ом.

$$x_1 = x''_{d1} \frac{S_6}{S_{\text{ном1}}},$$

$$x_2 = x_{d2}'' \frac{S_6}{S_{\text{ном}2}},$$

где x_{d1}'' и x_{d2}'' - реактивные сверхпереходные сопротивления по продольной оси генераторов, в о.е.

Сопротивления r_{a1} , r_{a2} , x_{d1}'' и x_{d2}'' - можно взять в приложении (таблица 1.1.2) для соответствующего генератора.

$$r_3 = r_3' \frac{S_6 \cdot 10^3}{U_6^2}; r_4 = r_4' \frac{S_6 \cdot 10^3}{U_6^2}; r_k = r_k' \frac{S_6 \cdot 10^3}{U_6^2};$$

$$x_3 = x_3' \frac{S_6 \cdot 10^3}{U_6^2}; x_4 = x_4' \frac{S_6 \cdot 10^3}{U_6^2}; x_k = x_k' \frac{S_6 \cdot 10^3}{U_6^2}.$$

Сопротивления r_3' , r_4' , r_k' , x_3' , x_4' и x_k' - берутся из приложения в зависимости от сечения токоведущей жилы кабеля (см. приложение 7).

4.4.7. Определяем сопротивления генераторных цепей:

$r_5 = r_1 + r_3$; $r_6 = r_2 + r_4$; $x_5 = x_1 + x_3$; $x_6 = x_2 + x_4$, и преобразуем схему замещения:

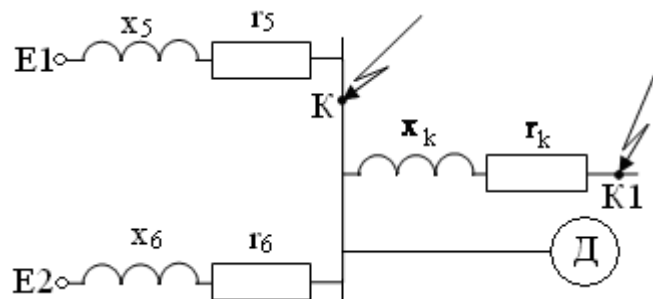


Рис.1в

4.4.8. Определяем сопротивление двух параллельных генераторных цепей в комплексной форме:

$$Z_5 = r_5 + j \cdot x_5; Z_6 = r_6 + j \cdot x_6;$$

$$Z_7 = \frac{Z_5 \cdot Z_6}{Z_5 + Z_6} = \frac{(r_5 + j \cdot x_5) \cdot (r_6 + j \cdot x_6)}{r_5 + j \cdot x_5 + r_6 + j \cdot x_6},$$

и преобразуем схему замещения:

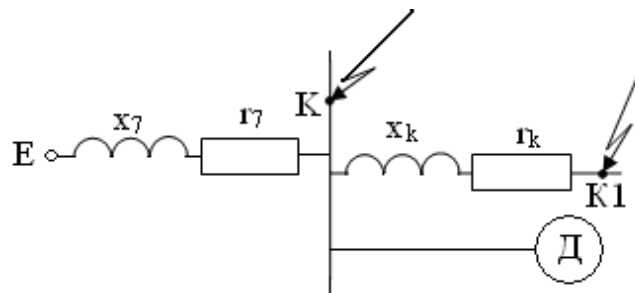


Рис.1г

4.4.9. Результирующее сопротивление для точки **К**: $Z_7 = r_7 + j \cdot x_7$, а его модуль: $Z_7 = \sqrt{r_7^2 + x_7^2}$.

4.4.10. По отношению x_7/r_7 , пользуясь зависимостью $K_{уд} = f(x/r)$ определяем ударный коэффициент $K_{уд}$ (см. приложение 9).

4.4.11. Определяем ток подпитки эквивалентного двигателя. Мощность эквивалентного двигателя определяется из таблицы нагрузок СЭС как сумма всех вращающихся потребителей (асинхронных двигателей, синхронных двигателей, вращающихся потребителей), работающих в данном режиме.

За сопротивление эквивалентного двигателя принимают пусковое сопротивление:

$$Z_{дв} = \frac{S_6}{K \cdot S_{дв}},$$

где $K = 5$ – кратность пускового тока.

4.4.11.1. Ток подпитки двигателя:

$$I_{дв} = \frac{E - \Delta U_{ост}}{Z_{дв}},$$

где $E = 0,9$ (точнее $0,87 \dots 0,93$) – ЕДС двигателя,

$\Delta U_{ост} = I_6 \cdot Z_{каб}$, где $Z_{каб} = \sqrt{r_k^2 + x_k^2}$.

Так как в нашем примере точка **К** лежит на шинах щита, то $\Delta U_{ост} = 0$, по этому:

$$I_{дв} = \frac{E}{Z_{дв}} = \frac{0,9}{Z_{дв}}, \text{ о.е.}$$

4.4.12. Ударный ток К.З. в точке **К**:

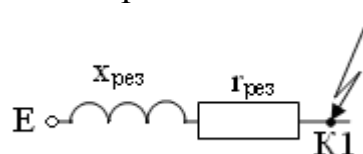
$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_6 \cdot [I_{0,01} + I_0 (K_{уд} - 1) + I_{дв}], \text{ А}$$

где $I_{0,01}$ и I_0 – берутся из расчетных кривых в зависимости от Z_7 и времени от начала К.З., т.е. при $t = 0,01$ с и 0 (см. приложение 10,11 и 12).

4.4.13. Действующее значение ударного тока К.З.:

$$I_{уд} = I_6 \cdot (\sqrt{I_{0,01}^2 + [2 \cdot I_0 \cdot (K_{уд} - 1)]^2} + I_{дв}),$$

4.4.14. При К.З. в точке **К1** схема замещения будет выглядеть следующим образом:



$$r_{рез} = r_7 + r_k; \quad x_{рез} = x_7 + x_k.$$

4.4.15. Отношение $x_{рез}/r_{рез}$, по которому определяем ударный коэффициент $K_{уд}$.

4.4.16. Определяем модуль полного сопротивления:

$$Z_{рез} = \sqrt{r_{рез}^2 + x_{рез}^2},$$

И по расчетным кривым определяем токи, соответствующие времени от 0 до 1 с.

4.4.17. Как в предыдущем случае определяем ток подпитки эквивалентного двигателя, с той лишь разницей, что $\Delta U_{ост} = I_0 \cdot r_k$, где I_0 определяем по расчетным кривым при $t = 0$ с.

Аналогично проводят расчет для любой точки К.З.

В практических инженерных расчетах точки К.З. выбирают во все фидерах, отходящих от ГРЩ и имеющих разные автоматические выключатели по допустимому предельному току.

Например, на ГРЩ установлены несколько десятков автоматов АК – 50 на различные уставки по току, но все имеющие одинаковый предельный ток отключения. В этом случае достаточно проверить только тот автомат, через который проходит наибольший номинальный ток и, если автомат проходит по коммутационной способности, то другие проверять не следует. А вот автоматы других типов нужно также проверить, т.е. в целом работа может быть трудоемкой.

5. РАСЧЕТ ШИНОПРОВОДОВ.

Расчет ведут в следующей последовательности:

5.1. Определяют длительно протекающий ток по данному шинопроводу, который равен току всех потребителей наиболее нагруженного режима работы судовой электростанции с учетом коэффициента одновременности (смотри таблицу нагрузок судовой электростанции) или току половины всех генераторов.

5.2. Производят выбор сечения шин (см. приложение 13).

Таблицы сечения шин и их нагрузки составлены с учетом температуры окружающей среды равной 45°C и допустимого перегрева тоже 45°C . Так как шины располагаются внутри щита, оболочка которого может иметь защищенное, капле-, брызго- и водозащищенное исполнение, то нагрузка на шины должна быть снижена:

$$I = I_{45} \frac{Q_{\max} - Q_{\text{окр}}}{Q_{\max} - 45},$$

где I - допустимый ток при температуре окружающей среды;

I_{45} - допустимый ток при температуре 45°C ;

$Q_{\max} = 90^{\circ}\text{C}$ - максимально допустимая длительная температура нагрева шин;

$Q^{\circ}\text{C}$ - температура окружающей среды шин принимается равной температуре судового помещения.

Иногда сечение шин приходится увеличиваться (1,5... 2) раза, но это имеет место обычно при значительной мощности генераторов. При малой мощности электростанции и часто приходится увеличивать сечение по условиям монтажа, так как шины получаются настолько малого сечения, что к ним бывает трудно

подключить подходящие и отходящие кабели. Это нужно учитывать при выборе сечения шин.

5.3. Шины щита должны быть проверены на динамическую устойчивость, для чего выполняют следующий расчет:

а) определяют силу, действующую на шину при протекании по ней максимального тока при коротком замыкании:

$$F = \frac{K \cdot K_{\phi} \cdot i_{\max}^2 \cdot l}{a \cdot 10^{-7}}, \text{ Н}$$

где K - коэффициент, учитывающий род тока;

$K = 1,76$ - при трехфазном токе;

$K = 2,04$ - при постоянном токе;

K_{ϕ} - коэффициент формы сечения шин, определяется в зависимости от отношения $\frac{a-b}{h+b}$ (см. приложение 14);

i_{\max}^2 - максимальный ток, проходящий по шинам, берется из расчетов токов К.З., А.

l - длина шинопровода, см.

a - расстояние между шинами, см.

б) определяет единичную силу, действующую на 1 м. длины шинопровода, Н/см:

$$F = \frac{K \cdot K_{\phi} \cdot i_{\max}^2 \cdot 1}{a \cdot 10^{-7}}$$

в) определяют момент изгибающий, (Н см)

-при одном и двух пролетах

$$M = \frac{f \cdot l^2 \cdot 10}{8},$$

- при большом числе пролетов

$$M = f \cdot l^2.$$

г) определяют расчетное напряжение

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{M}{W}, \text{ Н/см}^2$$

где W - момент сопротивления, см³

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6} \text{ - при расположении шин на ребро,}$$

где b - ширина (толщина) шины, см,

h - высота шины, см.

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} \text{ - при расположении шин плашмя.}$$

д) делают проверку по допустимому напряжению:

$$\sigma_{\text{расч}} \leq \sigma_{\text{доп}},$$

где $\sigma_{\text{доп.м}} \leq 14000, \text{ Н/см}^2$ - для меди;

$\sigma_{\text{доп.а}} \leq 7000, \text{ Н/см}^2$ - для алюминия.

На судах шины делаются исключительно из меди.

5.4 Шины щита, а также кабели проверяются на термическую стойкость по условию:

$$\theta_{\text{к.з.}} \leq \theta_{\text{max}},$$

где $\theta_{\text{к.з.}}$ - температура шин при токе К.З.;

θ_{max} - допустимая кратковременная температура;

$\theta_{\text{max}} = 300^\circ \text{C}$ - для медных шин;

$\theta_{\text{max}} = 200^\circ \text{C}$ - для алюминиевых шин;

$\theta_{\text{max}} = 200^\circ \text{C}$ - для кабелей с резиновой изоляцией.

Действительное значение температуры нагревания определяют в зависимости от $A\theta_{\text{к.з.}}$ по кривым (см. приложение 15 рис. 1);

$$A\theta_{\text{к.з.}} = A\theta_{\text{ном}} + \frac{I_\infty^2}{S^2} t_\phi,$$

где $A\theta_{\text{ном}}$ - величина, определяемая по кривым в соответствии с номинальной температурой нагрева проводника до короткого замыкания ; т.е. при 90°C (см. приложение 15 рис. 2).

I_∞ - установившейся ток К.З.

S - площадь поперечного сечения проводника (шины);

t_ϕ - фиктивное время, которое отражает длительность К.З.

За номинальную температуру нагрева проводника до К.З. принимают $\theta_{\text{ном}} = 90^\circ \text{C}$ - для шин и $\theta_{\text{ном}} = 65^\circ \text{C}$ для кабелей с резиновой изоляцией (для других марок кабелей $\theta_{\text{ном}}$ - принимается равной допустимой температуры их нагрева).

$$t_\phi = t_{\phi.n} + t_{\phi.a},$$

где $t_{\phi.n}$ - фиктивное время для периодической составляющей определяется по приложению 16; в зависимости от отношения:

$$\beta = \frac{I_0}{I_\infty},$$

где I_0 - начальный ток К.З.

I_∞ - установившейся ток К.З.

При относительно большем $Z_{\text{расч}}$ в расчете тока К.З. I_0 получается меньше I_∞ или I_y , поэтому β следует принимать равным 1.

$$t_{\phi.a} = \tau \cdot \beta^2,$$

$$\tau = x / \omega \cdot r,$$

где x и r - активное и реактивное сопротивление цепи до точки К.З.

$$\omega = 2\pi f,$$

$f = 50 \text{ Гц}$ - частота тока.

Проверка термической стойкости необходима только в том случае, когда время отключения ГРЩ (время срабатывания генераторного автомата) больше (0,5...0,7)с, а кабелей - больше 0,25с.

При пользовании графиками (приложения 14.) следует определять $A\theta_{\text{к.з.}}$ по той наклонной прямой линии, которая соответствует времени срабатывания выбранного автомата.

6. РАСЧЕТ ПРОВАЛА НАПРЯЖЕНИЯ.

Провал (снижение) напряжения определяется при прямом (непосредственном) пуске самого мощного асинхронного двигателя от самого маломощного источника электроэнергии в данном режиме.

Так например, на судне установлен грузовой насос мощностью 30 кВт и пожарный насос 20 кВт. Первый работает (запускается) когда электростанция работает в режиме «стоянка с грузовыми операциями», а второй - в режиме «Аварийный».

Режим «стоянка с грузовыми операциями» обеспечивается электроэнергией от двух работающих в параллель генераторов, а во втором режиме «Аварийный» работает только один генератор.

Отсюда вытекает, что расчет провала напряжения необходимо определять при пуске пожарного от одного генератора, а грузового насоса - от двух.

Расчет выполняют в такой последовательности.

6.1. Определяют эквивалентное индуктивное сопротивление двигателя

$$x_{дв} = \frac{P_{г}}{K \cdot P_{дв}} \left(\frac{U_{дв}}{U_{г}} \right)^2,$$

где $P_{г}$ - мощность генератора или генераторов, кВт;

$P_{дв}$ - мощность двигателя, кВт;

K - кратность пускового тока (при отсутствии данных можно принять 5,5);

$U_{дв}$ - напряжение двигателя (220 или 380В);

$U_{г}$ - напряжение генератора (230 или 400В);

6.2. Определяют начальное значение напряжения генератора

$$U_{нач} = E'_d \frac{x_{дв}}{x_{дв} + x_d} = E'_d \cdot K_1,$$

$$\text{где } K_1 = \frac{x_{дв}}{x_{дв} + x_d},$$

где E'_d - переходная Э.Д.С., которую с достаточной, для практики точностью независимо от предварительной нагрузки генератора, можно принять равной 1, т.е.

$E'_d = 1$;

x'_d - предельная переходная реактивность генератора по продольной оси;

6.3. Определяют начальное значение Э.Д.С. холостого хода:

$$E_d = 1 + x_d \cdot \sin \varphi_{нач} \frac{P_{нач}}{P_{ном}},$$

где x_d - продольная синхронная реактивность генератора по продольной оси;
 $\sin \varphi_{нач}$ - определяется по $\cos \varphi_{нач}$, который определяется как средневзвешенный данного режима без двигателя, пуск которого вводится в расчет. Например, проверяют провал напряжения, который создается при пуске грузового насоса, то $\cos \varphi_{нач}$ определяют по таблице нагрузки «стоянка с грузовыми операциями», но без учета мощности грузового насоса.

$P_{\text{нач}}$ - мощность предварительной нагрузки генератора (генераторов), т.е. суммарная мощность режима, без мощности двигателя, который вводится в расчет провала напряжения.

6.4. Определяют установившееся напряжение генератора:

$$U_{\text{уст}} = E_d \frac{X_{\text{дв}}}{X_{\text{дв}} + X_d} = E_d \cdot K_{\Gamma},$$

где $K_{\Gamma} = \frac{X_{\text{дв}}}{X_{\text{дв}} + X_d}$.

5.5. Определяют постоянную времени обмотки возбуждения при замкнутой обмотки статора на сопротивлении:

$$T'_d = T'_{d0} \frac{X_{\text{дв}} + X'_d}{X_{\text{дв}} + X_d},$$

где T'_{d0} - постоянная обмотки возбуждения при разомкнутой обмотке статора.

5.6. Определяют время достижения минимального значения напряжения генератора:

- для генераторов независимого возбуждения:

$$t_{\text{мин}} = T'_d 2,31 \lg \left(\frac{U_{\text{нач}} - U_{\text{уст}}}{K_{\Gamma} \cdot R T'_d} + e^{\frac{t_1}{T'_d}} \right),$$

$e = 2,72$ основание натурального логарифма;

R - скорость нарастания напряжения возбуждения генератора;

$R = 5$ - для генераторов независимого возбуждения;

$R = 20$ - для генераторов с самовозбуждением;

t_1 - время срабатывания АРН (для РУН $t_1 = 0,05$ с.)

- для генераторов с самовозбуждением:

$$t_{\text{мин}} = T'_d 2,31 \lg \left(\frac{U_{\text{нач}} - U_{\text{уст}}}{K_{\Gamma} \cdot R T'_d} + 1 \right),$$

6.7. Минимальная величина возбуждения

- для генератора независимого возбуждения:

$$U_{\text{мин}} = U_{\text{уст}} + (U_{\text{нач}} - U_{\text{уст}}) \cdot e^{\frac{-t_{\text{мин}}}{T'_d}} + K_{\Gamma} R [(t_{\text{мин}} - t_1) - T'_d (1 - e^{\frac{-t_{\text{мин}} - t_1}{T'_d}})],$$

- для генераторов самовозбуждением:

$$U_{\text{мин}} = U_{\text{уст}} + (U_{\text{нач}} - U_{\text{уст}}) \cdot e^{\frac{-t_{\text{мин}}}{T'_d}} + K_{\Gamma} R [t_{\text{мин}} - T'_d (1 - e^{\frac{t_{\text{мин}}}{T'_d}})],$$

6.8 Максимальный провал напряжения:

$$\Delta U_{\text{max}} = (1 - U_{\text{мин}}) \cdot 100.$$

При расчете пуска двигателя без учета предварительной нагрузки генератора провал напряжения будет больше.

6.9. При пуске двигателя от нескольких однотипных генераторов, работающих в параллель при определении эквивалентного индуктивного сопротивления двигателя (см. пункт 5.1) необходимо в формулу ввести:

$$P_{\Gamma} = \sum P_{\text{ген}},$$

где $\sum P_{\text{ген}}$ - сумма мощности всех генераторов, работающих в расчетном режиме.

В пункте 6.3 в этом случае $P_{\text{ном}} = \sum P_{\text{ген}}$.

7. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ГЛАВНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ЩИТА (ГРЩ) СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ.

При разработке принципиальной схемы ГРЩ необходимо обратить внимание на следующие основные положения:

7.1. Схему необходимо выполнить разнесенным способом изображения всех входящих в нее элементов.

7.2. В качестве защитных автоматов генераторных фидеров могут применяться автоматы серий АВМ, АС, АМ, АЗ700 и другие, с электромагнитными, электродвигательными или ручными приводами. Неподвижные контакты автоматов с электромагнитными или электродвигательными приводами соединяют с шинами щита, а при применении автоматов с ручным приводом между шинами и контактами автомата устанавливают контакторы.

Желательно, чтобы автоматы имели селективную пристройку с регулируемой выдержкой времени. Автоматы должны обеспечивать защиту, как от коротких замыканий, так и от перегрузок. Управление электроприводами автоматов должно быть автоматическое, дистанционное и ручное. Дистанционное должно предусматриваться как из рулевой рубки, так и из центрального поста управления.

7.3. При раздельной работе генераторов необходимо предусмотреть блокировку, исключающую включение генератора, когда на шинах есть напряжение от других генераторов и от станций питания с берега.

7.4. На каждой генераторной панели должны устанавливаться, как минимум следующие аппараты и приборы:

а) При параллельной работе генераторов.

- блок управления генератором;

- выключатель гашения поля;

- кнопки или переключатель с самовозвратом для управления серводвигателем дизеля;

- при мощности генераторов свыше 100 кВт желательно устанавливать устройство автоматической синхронизации, устройство вывода генератора в резерв при снижении нагрузки и ввода в работу при увеличении нагрузки;

- реле обратной мощности, сигнал от которого подается на отключающий расцепитель автомата;

- вольтметр со шкалой (0... 120)% от $U_{\text{ном}}$;

- амперметр со шкалой (-15...0...130)% от $I_{\text{ном}}$;

- ваттметр (киловаттметр) со шкалой (-15...0...130)% от $P_{\text{ном}}$;

- частотомер со шкалой (45...55) Гц;

- сигнальные лампы включенного генератора и возбужденного генератора, но не включенного на шины.

Вольтметр и частотомер могут иметь один переключатель, с помощью которого эти приборы можно включить между любыми двумя фазами. Переключатель амперметра должен иметь схему замыкания, позволяющую замерять ток в любой из 3-х фаз.

б) При раздельной работе генераторов:

- блок управления;
- выключатель гашения поля;
- вольтметр со шкалой $(0... 120)\%$ от $U_{ном}$;
- частотомер со шкалой $(45...55)$ Гц;
- амперметр со шкалой $(0... 130) \% I_{ном}$;
- сигнальные лампы включенного генератора и возбужденного, но не включенного.

Переключатель амперметра должен иметь такую схему, чтобы при переключении амперметра из

одной фазы в другую сперва замыкались оба трансформатора тока накоротко, затем переключался амперметр, а после того замыкались клеммы подключаемого трансформатора.

7.5. От шин распределительных панелей должны получать питание ответственные потребители судна:

- рулевой привод;
- брашпиль;
- шпиль;
- пожарные насосы;
- компрессоры;
- сигнальные огни.
- и т.д.

В каждом фидере потребителей должен устанавливаться защитный автомат из серии АЗ100, АЗ300, АК-50, АК-63 и т.п. (автоматы АП-50 могут устанавливаться только на судах класса О, Р, Л по Речному Регистру, так как не имеют одобрения Морского Регистра).

В фидерах, питающих относительно мощные потребители, обычно устанавливают трансформаторы тока в одной фазе, к которым с помощью переключателя подключается один общий амперметр для периодического контроля тока нагрузки. Так ми потребителями являются пожарные насосы, грузоподъемные приводы, грузовые насосы танкеров, брашпиль, рулевой привод и т.п. Если на судне таких потребителей много, то устанавливают несколько амперметров, обычно один амперметр подключается к $(4...5)$ трансформаторам тока.

7.6. Обычно, на распределительной панели устанавливают прибор непрерывного контроля сопротивления изоляции.

7.7. В щите, как правило, устанавливают несколько ламп освещения внутреннего пространства, а также лицевых панелей, которые подключаются непосредственно к щитам через предохранитель, но без выключателей.

7.8. На ГРЩ должен быть обязательно фидер питания с берега с защитным автоматом и сигнальной лампой наличия напряжения или вольтметром.

В конце методического пособия приведены параметры широко используемых автоматов защиты.

8. КОНСТРУКЦИЯ ГРЩ.

На большинстве судоремонтных предприятиях до сего времени ГРЩ изготавливают каркасного типа сварной конструкции. Каркас делают из угловой стали, затем сверху, с лицевой и боковых сторон его обшивают листовой сталью. На лицевой стороне делаются вырезы для установки измерительных приборов, сигнальных ламп и другой мелкой аппаратуры, а также вырезы для вывода рукояток управления защитными автоматами. Внутри щита устанавливают переключки для крепления аппаратов, изоляционные панели для размещения открытых токопроводящих устройств, изоляторы для крепления шин и другие изделия. Для изоляционных панелей применяют гетинакс, текстолит, стеклотекстолит и другие изоляционные, теплостойкие и механически прочные материалы. В верхней части щита, как правило, устанавливают токораспределительные шины, которые изготавливают из меди марки МТ. В местах присоединения к шинам переключек, токоотводов и кабелей, их лудят. Шины окрашивают в определенные цвета в соответствии с правилами Регистра:

- фаза А - зеленый.
- фаза В - желтый.
- фаза С - фиолетовый.
- нейтральный провод - серый.
- заземляющий - черный или желто зеленый.
- плюсовой полюс - красный.
- минусовой полюс - синий.

В качестве монтажного провода для межприборного монтажа щитов применяют одножильный с медными многопроволочными жилами марок ПВ, МГША сечением не менее $0,5 \text{ мм}^2$.

ГРЩ должен иметь, как минимум, каплезащищенное исполнение, высота рекомендуется не более 2,2 м, токоведущие, голые части должны располагаться от настила на высоте не менее 0,2 м., приборы должны устанавливаться на высоте не более 1,8 м., рукоятки приборов и аппаратов - не выше 1,8м. и не менее 0,3м. от настила. Лицевые панели должны открываться наружу, а на которых устанавливают электрооборудование, заземляются. Все секции щита должны быть заземлены на корпус судна. Все крепежные изделия должны иметь антикоррозийное покрытие. С лицевой стороны и задней у ГРЩ должны быть поручни, выполняемые из твердых пород дерева или металла с изоляционным покрытием.

На судостроительных предприятиях и передовых судоремонтных, щиты особенно вторичные, изготавливают блочной конструкции, бескаркасные, в виде ящиков. Каждый ящик представляет собой штампованную конструкцию с установленными в нем различными аппаратами. Из таких ящиков можно легко собрать щит любого типа, насыщения и мощности.

Литература

1. Алексеев Н.А., Макаров С.Б., Портнягин Н.Н. Микропроцессорные системы управления электроэнергетическими установками промысловых судов: учебное пособие . - М.: Колос, 2008. – 424 с.
2. Баранов А.П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы: учебник. - СПб.: Судостроение, 2005. – 528 с.
3. Богомолов В.С. Судовые электроэнергетические системы и их эксплуатация: учебник. - М.: Мир, 2006. – 320 с.
4. Краснов В.В., Мещанинов П.А., Мещанинов А.П. Основы теории и расчета судовых электроэнергетических систем: учебное пособие. – Л.: Судостроение, - 1989. – 328 с.
5. Константинов В.Н. Системы и устройства автоматизации судовых электроэнергетических установок. – Л.: Судостроение, - 1988. – 312 с.
6. Лейкин В.С., Михайлов В.А. Автоматизированные электроэнергетические системы промысловых судов. – М.: Агропромиздат, - 1987. – 327 с.
7. Максимов Ю.И., Павлюченков А.М. Эксплуатация судовых синхронных генераторов. – М.: Транспорт, - 1976. – 200 с.
8. Микропроцессорные системы контроля и управления судовых технических средств. – СПб.: Российский морской регистр судоходства, - 2005. – 415 с.
9. Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Савельев А.Е., Теплов Ю.И. Судовые устройства и системы автоматизации тепло- и электроэнергетических установок: учебное пособие. – Одесса: ТЭС, - 2010. – 290 с.
10. Соловьев Н.Н., Самулеев В.И. Судовые электроэнергетические системы: учебник. – М.: Транспорт, - 1991. – 248 с.
11. Яковлев Г.С. Судовые электроэнергетические системы: учебник. – Л.: Судостроение, - 1980. – 288 с.

Приложение 1

Таблица 1.1. Варианты исходных данных

№ приемника	ВАРИАНТ №1				ВАРИАНТ №2				ВАРИАНТ №3				ВАРИАНТ №4			
	Кол-во	$P_H, \text{кВт}$	η_H	$\cos\varphi$	Кол-во	$P_H, \text{кВт}$	η_H	$\cos\varphi$	Кол-во	$P_H, \text{кВт}$	η_H	$\cos\varphi$	Кол-во	$P_H, \text{кВт}$	η_H	$\cos\varphi$
1	-	3,5	-	0,79	-	4	-	0,83	-	1,5	-	0,85	-	5	-	0,85
3	-	1,5	-	0,81	-	2,2	-	0,82	-	1	-	0,84	-	3	-	0,84
6	1	45	0,84	0,84	1	57	0,85	0,85	1	22	0,86	0,82	1	50	0,88	0,9
8	4	6	0,8	0,81	6	8	0,82	0,83	3	4	0,83	0,85	6	12	0,82	0,85
11	1	200	0,8	0,83	1	250	0,8	0,87	1	120	0,82	0,85	1	300	0,84	0,9
13	2	35	0,87	0,85	2	42	0,88	0,85	2	17	0,87	0,86	2	44	0,88	0,86
16	2	35	0,88	0,83	2	3	0,85	0,84	2	16	0,84	0,85	2	50	0,83	0,92
17	2	7	0,81	0,82	2	9	0,83	0,84	2	4	0,84	0,87	2	12	0,85	0,9
18	2	37	0,86	0,87	2	42	0,85	0,85	2	23	0,82	0,83	2	45	0,86	0,96
19	2	7	0,85	0,9	2	11	0,87	0,9	2	5	0,86	0,89	2	12	0,82	0,91
23	2	3	0,84	0,85	2	4	0,84	0,86	2	2	0,87	0,88	2	7	0,85	0,87
26	3	50	0,85	0,85	4	55	0,87	0,89	2	30	0,88	0,9	3	60	0,87	0,9
27	2	25	0,85	0,87	3	30	0,89	0,92	2	18	0,89	0,91	2	40	0,86	0,89
29	3	7	0,84	0,86	3	10	0,87	0,9	3	5	0,87	0,89	4	11	0,88	0,92
31	3	25	0,85	0,87	3	3,5	0,9	0,92	3	15	0,88	0,9	4	27	0,89	0,93
33	3	10	0,8	0,82	4	12	0,86	0,88	3	6	0,83	0,85	6	15	0,96	0,87
35	1	1	0,87	0,85	1	1	0,85	0,87	1	0,7	0,86	0,88	1	1,2	0,82	0,88
37	1	37	-	1	1	45	-	1	1	18	-	1	1	52	-	1
39	1	15	-	1	1	17	-	1	1	9	-	1	1	20	-	1
41	2	5	-	1	2	8	-	1	1	4	-	1	2	12	-	1
43	2	1,5	0,75	0,8	2	2	0,8	0,82	1	1	0,82	0,84	2	1,5	0,83	0,9
46	2	120	0,85	0,87	5	130	0,87	0,85	3	80	0,88	0,88	6	150	0,89	0,88
53	4	4	0,84	0,8	3	5	0,85	0,88	2	1,5	0,84	0,85	6	8	0,87	0,92
55	-	38	-	1	-	50	-	1	-	21	-	1	-	57	-	1
57	-	2,5	-	1	-	3	-	1	-	1,5	-	1	-	4	-	1

№ приемника	ВАРИАНТ №5				ВАРИАНТ №6				ВАРИАНТ №7				ВАРИАНТ №8			
	Кол-во	$P_H, \text{кВт}$	η_H	$\cos\varphi$	Кол-во	$P_H, \text{кВт}$	η_H	$\cos\varphi$	Кол-во	$P_H, \text{кВт}$	η_H	$\cos\varphi$	Кол-во	$P_H, \text{кВт}$	η_H	$\cos\varphi$
2	-	12	-	0,84	-	6	-	0,83	-	3	-	0,82	-	8	-	0,8
4	-	19	-	0,82	-	12	-	0,84	-	6	-	0,83	-	10	-	0,84
6	1	60	0,9	0,87	1	38	0,85	0,82	1	19	0,87	0,8	1	40	0,88	0,9
9	8	40	0,89	0,85	6	25	0,87	0,84	4	18	0,85	0,87	6	32	0,9	0,85
10	2	38	0,87	0,92	2	20	0,9	0,88	2	9	0,89	0,9	2	35	0,91	0,92
12	2	350	0,85	0,86	1	170	0,88	0,85	1	80	0,85	0,92	2	280	0,93	0,83
13	2	42	0,87	0,9	2	30	0,82	0,83	2	19	0,8	0,93	2	35	0,9	0,84
14	2	9	0,8	0,94	2	4	0,84	0,92	2	3	0,82	0,85	2	11	0,87	0,82
16	2	44	0,82	0,9	2	18	0,86	0,91	2	9	0,84	0,92	2	28	0,89	0,86
18	2	45	0,86	0,89	2	20	0,85	0,88	1	12	0,83	0,84	2	37	0,87	0,9
20	2	9	0,89	0,94	1	4	0,9	0,92	1	2	0,89	0,93	2	12	0,88	0,93
21	6	30	0,85	0,85	4	12	0,83	0,87	2	6	0,81	0,9	6	35	0,83	0,91
26	4	60	0,87	0,92	2	35	0,82	0,91	2	19	0,8	0,85	3	55	0,82	0,95
27	3	35	0,88	0,91	1	17	0,85	0,9	1	12	0,84	0,87	3	28	0,9	0,88
28	2	32	0,85	0,93	1	15	0,84	0,91	1	10	0,82	0,9	2	25	0,91	0,87
29	4	15	0,83	0,87	2	4	0,81	0,8	2	3	0,8	0,88	4	17	0,87	0,91
34	2	2,5	0,8	0,85	1	1	0,83	0,84	1	0,7	0,81	0,87	2	3	0,84	0,83
36	2	45	0,83	0,9	1	21	0,84	0,91	1	14	0,82	0,9	2	43	0,85	0,9
37	1	45	-	1	1	18	-	1	1	12	-	1	1	40	-	1
38	2	15	-	1	1	9	-	1	1	7	-	1	2	12	-	1
39	2	15	-	1	1	7	-	1	1	5	-	1	2	13	-	1
47	2	24	0,83	0,87	1	12	0,85	0,86	1	9	0,83	0,91	2	22	0,87	0,91
50	2	8	0,87	0,91	1	3	0,88	0,85	1	2	0,85	0,9	2	6	0,87	0,92
55	-	52	-	1	-	19	-	1	-	15	-	1	-	34	-	1
57	-	3,5	-	1	-	1,5	-	1	-	1,5	-	1	-	2	-	1

Приложение 1

Продолжение таблицы 1.1

№ приемника	ВАРИАНТ №9				ВАРИАНТ №10				ВАРИАНТ №11				ВАРИАНТ №12			
	Кол-во	P _н , кВт	η_n	cosφ	Кол-во	P _н , кВт	η_n	cosφ	Кол-во	P _н , кВт	η_n	cosφ	Кол-во	P _н , кВт	η_n	cosφ
4	-	16	-	0,9	-	12	-	0,8	-	8	-	0,86	-	15	-	0,85
5	1	3,5	-	0,88	2	3	-	0,82	1	2,2	-	0,85	1	4	-	0,8
7	2	15	0,85	0,85	1	12	0,91	0,8	1	12	0,83	0,88	2	18	0,87	0,82
8	6	5,2	0,9	0,88	4	3,7	0,83	0,78	4	3,8	0,87	0,8	8	6	0,91	0,81
9	8	35	0,92	0,8	6	28	0,9	0,77	4	21	0,85	0,82	8	38	0,79	0,93
10	2	32	0,92	0,87	2	25	0,83	0,75	2	14	0,86	0,8	2	37	0,75	0,79
11	2	150	0,9	0,88	2	120	0,88	0,9	1	90	0,87	0,82	2	250	0,77	0,78
13	4	35	0,91	0,85	4	22	0,85	0,79	2	14	0,88	0,85	4	37	0,8	0,83
17	4	7	0,86	0,86	4	4	0,88	0,85	1	3	0,78	0,81	3	9	0,83	0,8
18	2	33	0,87	0,83	2	23	0,85	0,85	1	17	0,85	0,83	3	40	0,85	0,75
20	2	4,5	0,85	0,85	2	2,5	0,87	0,9	1	1,5	0,96	0,84	2	5	0,87	0,79
21	4	25	0,9	0,87	4	17	0,89	0,82	2	12	0,9	0,81	4	23	0,92	0,81
24	3	3,5	0,78	0,83	2	2,5	0,81	0,78	1	1,7	0,85	0,79	2	4	0,93	0,8
26	4	50	0,93	0,9	3	32	0,9	0,85	2	25	0,93	0,8	4	55	0,94	0,82
28	2	33	0,94	0,91	2	21	0,8	0,77	1	22	0,91	0,82	3	35	0,92	0,79
32	6	5	0,87	0,83	4	3	0,85	0,85	2	3	0,79	0,81	4	3,5	0,87	0,8
36	2	35	0,95	0,84	1	24	0,9	0,8	1	13	0,91	0,79	1	28	0,93	0,82
37	1	40	-	1	1	28	-	1	1	15	-	1	2	25	-	1
41	2	7	-	1	2	3,5	-	1	1	3,5	-	1	3	5	-	1
44	2	8	-	1	1	5	-	1	1	4	-	1	2	9	-	1
48	2	7	0,87	0,85	2	4,5	0,9	0,87	1	3	0,89	0,75	-	-	-	-
49	2	5	0,85	0,87	2	3	0,8	0,83	1	2,5	0,79	0,8	-	-	-	-
51	4	7	0,9	0,88	3	5	0,87	0,82	2	4	0,8	0,8	8	6,2	0,79	0,81
52	3	14	0,88	0,85	2	10	0,85	0,81	1	9	0,77	0,78	5	12	0,83	0,8
55	-	50	-	1	-	32	-	1	-	24	-	1	-	54	-	1

№ приемника	ВАРИАНТ №13				ВАРИАНТ №14				ВАРИАНТ №15				ВАРИАНТ №16			
	Кол-во	P _н , кВт	η_n	cosφ	Кол-во	P _н , кВт	η_n	cosφ	Кол-во	P _н , кВт	η_n	cosφ	Кол-во	P _н , кВт	η_n	cosφ
1	-	5	-	0,8	-	3	-	0,79	-	1,5	-	0,8	-	2,3	-	0,83
2	-	7	-	0,82	-	4	-	0,8	-	2,2	-	0,83	-	9,6	-	0,8
6	1	64	0,85	0,84	1	32	0,82	0,83	1	20	0,84	0,84	1	48	0,77	0,85
7	2	37	0,83	0,88	2	28	0,79	0,84	-	-	-	-	2	27	0,79	0,87
9	8	32	0,82	0,83	4	21	0,78	0,81	4	19	0,77	0,81	6	32	0,79	0,82
10	2	41	0,87	0,86	2	19	0,83	0,85	2	14	0,81	0,82	2	27	0,85	0,85
13	4	27	0,86	0,85	2	17	0,85	0,84	2	11	0,86	0,85	2	29	0,81	0,82
14	4	7,5	0,81	0,83	2	4,7	0,8	0,82	2	6,3	0,82	0,8	2	9	0,79	0,84
16	4	19	0,88	0,82	2	11	0,86	0,8	2	9	0,88	0,83	2	7	0,82	0,85
17	3	12	0,85	0,85	2	6	0,84	0,84	2	4	0,8	0,78	2	8	0,82	0,83
18	3	75	0,86	0,8	2	34	0,82	0,9	2	21	0,87	0,83	2	45	0,83	0,87
21	4	17	0,85	0,85	3	7,5	0,85	0,81	3	3,8	0,8	0,84	2	15	0,82	0,83
22	2	14	0,82	0,83	1	6,5	0,83	0,83	1	5,1	0,79	0,82	1	12	0,8	0,84
26	4	80	0,87	0,9	2	37	0,86	0,92	2	25	0,85	0,84	2	43	0,84	0,91
27	4	28	0,86	0,87	1	19	0,81	0,87	2	13	0,83	0,82	2	23	0,84	0,85
31	12	7	0,85	0,91	4	3,8	0,87	0,89	3	3,5	0,885	0,86	7	4,2	0,82	0,85
37	2	21	-	1	1	13	-	1	1	9	0,8	1	1	14	-	1
42	3	8	0,85	0,87	1	6,4	0,85	0,87	1	5,8	0,79	0,86	2	7,4	0,82	0,84
46	2	250	0,92	0,82	2	110	0,9	0,81	2	70	0,89	0,79	2	270	0,89	0,9
47	2	38	0,84	0,8	1	17	0,83	0,82	1	14	0,82	0,79	2	23	0,79	0,86
51	6	9	0,85	0,87	4	4,8	0,84	0,87	3	4	0,81	0,85	5	7,3	0,82	0,91
52	3	13	0,83	0,81	2	7	0,82	0,8	2	7	0,82	0,8	3	14	0,87	0,92
54	4	7	0,85	0,87	2	5,2	0,83	0,87	2	4	0,8	0,79	3	9	0,81	0,88
55	-	60	-	1	-	32	-	1	-	26	-	1	-	57	-	1
57	-	3,2	-	1	-	1,9	-	1	-	1,5	-	1	-	3,5	-	1

Приложение 1

Продолжение таблицы 1.1

№ приемника	ВАРИАНТ №17				ВАРИАНТ №18				ВАРИАНТ №19				ВАРИАНТ №20			
	Кол-во	P _н , кВт	η_H	cosφ	Кол-во	P _н , кВт	η_H	cosφ	Кол-во	P _н , кВт	η_H	cosφ	Кол-во	P _н , кВт	η_H	cosφ
4	-	21	-	0,8	-	13	-	0,82	-	6	-	0,84	-	23	-	0,87
5	1	3,5	-	0,87	1	2,6	-	0,84	1	1,2	-	0,83	2	4	-	0,85
6	1	68	0,86	0,84	1	43	0,8	0,81	1	33	0,83	0,8	1	72	0,85	0,89
9	6	42	0,85	0,83	6	31	0,8	0,8	4	27	0,82	0,81	8	53	0,87	0,86
10	2	37	0,86	0,87	2	21	0,82	0,83	2	14	0,83	0,82	4	42	0,88	0,89
13	4	27	0,82	0,87	2	23	0,8	0,84	2	15	0,8	0,8	4	32	0,85	0,88
14	4	9	0,83	0,81	2	7	0,81	0,82	2	5,2	0,82	0,83	4	11	0,82	0,82
16	4	31	0,8	0,82	2	20	0,83	0,8	2	11	0,81	0,84	4	33	0,84	0,889
18	3	43	0,85	0,83	2	37	0,82	0,8	1	17	0,85	0,85	4	47	0,86	0,88
26	4	57	0,86	0,85	2	35	0,82	0,82	2	23	0,87	0,89	5	62	0,87	0,89
27	3	31	0,85	0,82	2	14	0,85	0,8	1	9	0,81	0,8	4	27	0,83	0,85
28	3	27	0,84	0,8	2	19	0,82	0,83	2	12	0,83	0,81	2	31	0,86	0,82
32	9	7,3	0,88	0,9	6	5,8	0,85	0,89	2	4,5	0,82	0,84	10	5,8	0,81	0,83
37	1	42	-	1	1	27	-	1	1	12	-	1	2	35	-	1
46	6	150	0,85	0,82	4	130	0,82	0,8	4	70	0,84	0,8	-	-	-	-
47	2	21	0,8	0,8	2	13	0,83	0,83	2	10	0,8	0,8	-	-	-	-
48	4	7,1	0,83	0,85	3	5,7	0,81	0,83	2	3,8	0,84	0,83	-	-	-	-
50	2	5,5	0,87	0,82	2	3,8	0,8	0,81	1	3,6	0,8	0,81	-	-	-	-
51	6	5,7	0,85	0,87	4	3,7	0,83	0,85	3	3	0,84	0,86	8	7,7	0,85	0,82
52	4	35	0,81	0,84	2	17	0,82	0,83	2	11	0,83	0,82	4	47	0,83	0,83
53	4	7,3	0,82	0,81	2	5,3	0,8	0,85	2	4,7	0,85	0,87	7	9	0,86	0,83
54	6	4,7	0,8	0,8	4	3,2	0,85	0,85	3	3	0,83	0,82	8	5,3	0,82	0,84
55	-	58	-	1	-	31	-	1	-	23	-	1	-	64	-	1
56	4	1	-	1	2	0,8	-	1	1	1	-	1	4	1,5	-	1
57	-	3,7	-	1	-	2,2	-	1	-	2	-	1	-	4,8	-	1

№ приемника	ВАРИАНТ №21				ВАРИАНТ №22				ВАРИАНТ №23				ВАРИАНТ №24			
	Кол-во	P _н , кВт	η_H	cosφ	Кол-во	P _н , кВт	η_H	cosφ	Кол-во	P _н , кВт	η_H	cosφ	Кол-во	P _н , кВт	η_H	cosφ
1	-	3,5	-	0,7	-	4	-	0,75	1	2	-	0,79	-	2	-	0,78
2	-	12	-	0,82	-	14	-	0,79	-	5	-	0,79	-	3	-	0,78
6	1	45	0,8	0,86	1	47	0,82	0,86	1	23	0,79	0,82	1	49	0,83	0,85
9	8	40	0,79	0,84	6	42	0,82	0,86	4	19	0,78	0,82	8	45	0,83	0,85
10	2	41	0,83	0,87	2	43	0,8	0,86	2	24	0,79	0,82	2	43	0,83	0,85
13	4	35	0,86	0,82	4	37	0,84	0,86	2	21	0,79	0,82	3	39	0,82	0,85
14	4	7,5	0,81	0,8	4	9	0,82	0,8	2	6	0,79	0,85	3	8	0,8	0,84
16	2	35	0,84	0,83	2	38	0,85	0,8	2	30	0,86	0,85	2	41	0,82	0,84
18	3	43	0,8	0,87	3	45	0,83	0,8	2	37	0,83	0,85	3	47	0,81	0,84
19	2	7	0,83	0,82	2	9	0,83	0,8	2	5	0,79	0,85	2	11	0,79	0,8
21	6	30	0,82	0,86	6	33	0,83	0,83	4	23	0,82	0,81	5	35	0,8	0,87
26	4	60	0,85	0,85	4	64	0,82	0,83	4	32	0,83	0,81	6	62	0,83	0,87
27	2	25	0,83	0,84	2	27	0,81	0,83	2	19	0,8	0,81	3	29	0,8	0,86
28	2	53	0,86	0,87	2	31	0,85	0,82	2	23	0,84	0,81	4	35	0,84	0,85
31	12	7	0,79	0,81	10	7,5	0,8	0,82	6	4,3	0,79	0,8	12	11	0,81	0,8
33	5	10	0,8	0,8	4	11	0,8	0,82	3	6	0,83	0,8	6	13	0,82	0,81
37	1	45	-	1	1	43	-	1	1	25	-	1	2	20	-	1
46	2	300	0,84	0,89	2	320	0,86	0,84	2	150	0,87	0,8	2	370	0,88	0,88
47	2	25	0,8	0,8	2	270	0,87	0,82	2	18	0,85	0,8	2	31	0,84	0,85
49	2	17	0,83	0,83	2	19	0,87	0,82	2	11	0,83	0,8	2	25	0,84	0,84
51	4	13	0,79	0,8	4	13	0,87	0,82	4	8	0,83	0,8	6	15	0,83	0,84
52	4	15	0,81	0,83	5	15	0,87	0,82	4	10	0,83	0,8	6	17	0,82	0,84
53	4	11	0,78	0,8	5	12	0,8	0,81	4	6	0,81	0,8	6	16	0,84	0,8
54	4	9	0,82	0,82	4	9	0,86	0,81	4	6	0,8	0,8	8	12	0,83	0,83
55	-	65	-	1	-	60	-	1	-	31	-	1	-	23	-	1

Приложение 1

Продолжение таблицы 1.1

№ приемника	ВАРИАНТ №25				ВАРИАНТ №26				ВАРИАНТ №27				ВАРИАНТ №28			
	Кол-во	P _н , кВт	η_H	cosφ	Кол-во	P _н , кВт	η_H	cosφ	Кол-во	P _н , кВт	η_H	cosφ	Кол-во	P _н , кВт	η_H	cosφ
1	-	5,3	-	0,75	-	1,7	-	0,75	-	1,2	-	0,79	-	4	-	0,8
4	-	19	-	0,82	-	12	-	0,8	-	9	-	0,8	-	20	-	0,84
5	1	3	-	0,84	1	1,8	-	0,81	1	1,2	-	0,81	1	3,5	-	0,85
6	2	80	0,85	0,84	1	20	0,83	0,81	1	14	0,82	0,82	2	85	0,86	0,88
9	8	62	0,85	0,84	4	32	0,82	0,82	4	23	0,8	0,8	10	64	0,85	0,9
12	2	350	0,85	0,87	-	-	-	-	-	-	-	-	2	370	0,86	0,92
13	2	54	0,86	0,85	1	21	0,83	0,81	1	17	0,82	0,82	2	55	0,87	0,9
16	1	47	0,88	0,84	1	9	0,8	0,8	1	7	0,81	0,81	2	50	0,85	0,88
18	1	54	0,83	0,87	1	229	0,81	0,82	1	25	0,82	0,82	2	54	0,84	0,85
21	4	32	0,85	0,85	2	12	0,82	0,81	2	11	0,82	0,81	4	37	0,83	0,850
26	5	60	0,84	0,88	2	35	0,82	0,85	2	30	0,83	0,83	5	62	0,85	0,9
27	3	42	0,85	0,85	1	14	0,83	0,83	1	11	0,8	0,82	4	45	0,86	0,9
31	6	27	0,8	0,82	2	12	0,8	0,83	2	9	0,81	0,83	7	28	0,83	0,85
33	6	25	0,8	0,8	3	9	0,8	0,8	3	7	0,8	0,8	8	30	0,84	0,86
37	2	35	-	1	1	12	-	1	1	10	-	1	2	37	-	1
38	2	17	-	1	1	11	-	1	1	10	-	1	2	17	-	1
40	2	21	-	1	1	13	-	1	1	9	-	1	2	21	-	1
46	5	160	0,85	0,88	3	110	0,82	0,88	3	80	0,82	0,85	-	-	-	-
47	2	27	0,08	0,82	1	17	0,8	0,8	1	15	0,8	0,82	-	-	-	-
51	6	11	0,85	0,82	3	9	0,83	0,8	3	7	0,83	0,81	10	15	0,85	0,87
52	4	23	0,83	0,81	2	18	0,82	0,8	2	15	0,82	0,82	6	28	0,84	0,85
53	4	17	0,84	0,8	2	9	0,81	0,81	2	7	0,82	0,82	6	25	0,84	0,84
54	6	4	0,85	0,81	4	3,5	0,82	0,8	3	3	0,8	0,83	10	8	0,86	0,83
55	-	52	-	1	-	32	-	1	-	29	-	1	-	64	-	1
56	2	1,5	-	1	2	1	-	1	2	1	-	1	4	1,5	-	1

№ приемника	ВАРИАНТ №29				ВАРИАНТ №30			
	Кол-во	P _н , кВт	η_H	cosφ	Кол-во	P _н , кВт	η_H	cosφ
1	-	1,5	-	0,75	-	1	-	0,75
2	-	4,5	-	0,8	-	2,2	-	0,8
3	-	1,5	-	0,8	-	1,2	-	0,8
4	-	7	-	0,83	-	5	-	0,81
6	1	35	0,82	0,85	1	28	0,83	0,83
7	1	15	0,81	0,84	1	12	0,81	0,82
9	4	23	0,83	0,83	2	17	0,83	0,82
10	2	24	0,84	0,85	2	11	0,82	0,83
13	1	27	0,85	0,85	1	21	0,83	0,85
14	1	6	0,81	0,81	1	4,7	0,82	0,82
17	1	5	0,82	0,82	1	3,8	0,81	0,83
18	1	33	0,85	0,86	1	27	0,83	0,88
20	1	3	0,8	0,8	1	2,5	0,79	0,8
21	2	4	0,82	0,82	2	3,5	0,83	0,82
23	1	3,2	0,79	0,84	1	2,7	0,79	0,83
26	2	30	0,85	0,88	2	27	0,85	0,85
28	1	21	0,83	0,83	1	19	0,82	0,85
37	1	17	-	1	1	15	-	1
42	2	4	0,8	0,81	2	3	0,81	0,81
45	4	0,3	0,82	0,84	2	0,3	0,82	0,84
48	2	5	0,83	0,83	2	5	0,81	0,82
49	1	3,7	0,8	0,81	1	3	0,8	0,81
50	1	4	0,83	0,83	1	3,5	0,82	0,82
52	2	9	0,84	0,84	2	7,5	0,83	0,83
55	-	28	-	1	-	25	-	1

Приложение 1

Таблица 1.2. Таблица нагрузок

ТАБЛИЦА НАГРУЗОК ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА							
№ п/п	Приемники электрической энергии	Данные потребителей					
		Количество	Номинальная мощность, кВт	Номинальный КПД	Номинальный коэффициент мощности, cosφ	Потребляемая мощность, кВт	Потребляемая суммарная мощность, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8
I	СРЕДСТВА СУДОВОЖДЕНИЯ И СВЯЗИ						
1	Гирокомпас, лаг, эхолот	-	4.7	-	0.7	4.7	4.7
2	Радиосвязь	-	9.6	-	0.8	9.6	9.6
3	Радиотрансляция и громкоговорящая связь	-	1.8	-	0.8	1.8	1.8
4	Приборы радиолокации	-	18	-	0.8	18	18
5	Авторулевой	1	2.7	-	0.85	2.7	2.7
II	ПАЛУБНЫЕ МЕХАНИЗМЫ						
6	Электропривод брашпиля	1	55	0.8	0.84	65.7	65.7
7	Электропривод швартового брашпиля	1	27	0.83	0.87	32.5	32.5
8	Электропривод шлюпочной лебедки	6	7.2	0.8	0.8	9.0	54.0
9	Электропривод грузовой лебедки	6	36	0.85	0.84	42.3	253.8

Приложение 1

Продолжение таблицы 1.2

III	ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ СУДОВЫХ МЕХАНИЗМОВ						
10	Электрогидравлический привод руля	2	37	0.86	0.87	43.0	86.0
11	Активный руль	1	270	0.82	0.84	329	329
12	Подруливающее устройство	2	320	0.85	0.87	376	752
IV	ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ						
13	Электропривод охлаждающего насоса главного двигателя	2	38	0.59	0.85	44.1	88.2
14	Электропривод масляного сепаратора	1	7.5	0.83	0.81	9.0	9.0
15	Электропривод топливного насоса	2	7.5	0.83	0.81	9.0	18.0
16	Электропривод масляного насоса главного двигателя	2	45	0.88	0.84	51.1	102.2
17	Электропривод перекачивающего насоса дизельного топлива	2	9.0	0.8	0.78	11.2	22.4
18	Электропривод компрессора пускового воздуха	2	42	0.87	0.83	48.2	96.4
19	Электропривод питательного насоса котла	2	8.5	0.85	0.9	10.0	20.0
20	Электроventильатор котла	1	3.7	0.81	0.82	4.6	4.6
21	Электроventильатор машинного отделения	4	28.5	0.85	0.85	33.5	134
22	Электропривод валоповоротного устройства	1	12	0.8	0.83	15.0	15.0

Приложение 1

Продолжение таблицы 1.2

У	ЭЛЕКТРОМЕХАНИЗМЫ ОБЩЕСУДОВЫХ СИСТЕМ						
23	Электродвигатель насоса питьевой воды	2	3.2	0.79	0.84	4.0	8.0
24	Электродвигатель насоса мытьевой воды	2	3.2	0.75	0.79	4.2	8.4
25	Электродвигатель насоса санитарно-го насоса заборной воды	2	2.8	0.88	0.83	3.2	6.4
26	Электродвигатель пожарного насоса	3	55	0.88	0.84	62.5	187.5
27	Электродвигатель осушительного насоса	2	27	0.85	0.85	31.7	63.4
28	Электродвигатель балластного насоса	1	28	0.86	0.87	32.5	32.5
29	Электродвигатель холодильной установки (Провизонных камер)	2	9.0	0.83	0.83	10.8	21.6
30	Охлаждающий насос кондиционирования	2	2.8	0.83	0.83	3.4	6.8
31	Электродвигатели вентиляторов системы кондиционирования воздуха	2	24	0.8	0.82	30	60
32	Электродвигатели вентиляторов жилых помещений	4	8.5	0.84	0.86	10.1	40.4
33	Электродвигатели вентиляторов трюмов	4	13	0.8	0.8	16.2	64.8

Приложение 1

Продолжение таблицы 1.2

VI	МЕХАНИЗМЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ МАСТЕРСКОЙ						
		1	1.7	0.8	0.85	2.1	2.1
34	Токарный станок	1	1.7	0.8	0.85	2.1	2.1
35	Сверлильный станок	1	1.7	0.82	0.84	1.3	1.3
36	Электросварочный аппарат	1	45	0.87	0.82	51.7	51.7
VII	БЫТОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ И УСТРОЙСТВА						
		1	42	-	1	42	42
37	Камбузная плита	1	42	-	1	42	42
38	Хлебопекарная печь	1	15	-	1	15	15
39	Котел	1	17	-	1	17	17
40	Кипятильник	1	17	-	1	17	17
41	Электрический бак	1	5.7	-	1	5.7	5.7
42	Стиральная машина	2	8.0	0.85	0.87	9.4	18.8
43	Тестомешалка	1	1.7	0.68	0.7	2.5	2.5
44	Автоклав	1	8	-	1	8	8
45	Бытовые холодильники	7	0.7	0.88	0.87	0.8	5.6
VIII	ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВЫХ ПРОМЫСЛОВЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ						
		45	130	0.85	-	153	765
46	Комплект промысловых лебедок для тралового лова	45	130	0.85	-	153	765
47	Дрифтерный шпиль	1	19	0.8	0.8	23.7	23.7
48	Электропривод сетевыборочных ма- шин	2	5.6	0.83	0.85	6.7	13.4
49	Электродвигатель рола	1	5	0.83	0.85	6	6
50	Электродвигатель сететрясных машин	1	6	0.87	0.85	6.9	6.9

Приложение 1

Продолжение таблицы 1.2

51	Электрооборудование рыбообрабатывающих машин	3	4.8	0.85	0.87	5.6	16.8
IX	ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК						
52	Электроприводы компрессоров	2	14	0.83	0.81	16.8	33.6
53	Электроприводы вспомогательных насосов	2	4.7	0.84	0.86	5.6	11.2
54	Электроприводы транспортеров	2	3.8	0.85	0.87	4.5	9
X	ПРОЧИЕ ПОТРЕБИТЕЛИ						
55	Освещение	-	47	-	1	47	47
56	Сигнальный прожектор	2	0.8	-	1	1.6	1.6
57	Сигнально-отличительные огни	-	2.8	-	1	2.8	2.8
58	Тифон	1	0.5	-	1	0.5	0.5
59	Сирена	1	0.5	-	1	0.5	0.5

Приложение 1

Продолжение таблицы 1.2

№ п/п	Переход на промысел и в порт с работой рефугинажки					Промысловый режим с работой технологического оборудования					Стоянка у плавбазы с работой грузовых лебедок и холодильной установки					Аварийный режим				
	K ₀	K ₁	φ	P	Q	K ₀	K ₁	φ	P	Q	K ₀	K ₁	φ	P	Q	K ₀	K ₁	φ	P	Q
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
I																				
1	1	1	0.7	4.7	4.7	1	1	0.7	4.7	4.7	-	-	-	-	-	1	1	0.7	4.7	4.7
2	1	1	0.8	9.6	7.2	1	1	0.8	9.6	7.2	0.5	0.7	0.8	3.4	2.5	1	1	0.8	9.6	7.2
3	1	1	0.8	1.8	1.3	1	1	0.8	1.8	1.3	1	1	0.8	1.8	1.3	1	1	0.8	1.8	1.3
4	1	1	0.8	18	13.5	1	1	0.8	18	13.5	-	-	-	-	-	0.8	0.8	0.8	11.5	8.5
5	1	1	0.85	2.7	1.7	1	1	0.85	2.7	1.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II																				
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	0.84	(67.7)	(42.2)	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	0.87	(32.5)	(19)	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	0.8	(54)	(40)
9	-	-	-	-	-	0.33	1	0.84	(84.6)	(55.1)	0.5	9	0.84	113.8	148	-	-	-	-	-
III																				
10	0.5	0.6	0.78	25.8	21	0.5	0.6	0.78	25.8	21	-	-	-	-	-	0.5	0.7	0.8	30	22.5
11	-	-	-	-	-	1	0.8	0.84	263.2	171	-	-	-	-	-	1	0.8	0.84	(263.2)	(171)
12	-	-	-	-	-	1	0.7	0.82	(526.4)	(368.4)	1	0.8	0.83	(602)	(403)	-	-	-	-	-
IV																				
13	1	1	0.85	88.2	54.9	1	0.8	0.82	70.6	49.3	-	-	-	-	-	0.5	0.8	0.82	35.3	24
14	1	1	0.82	18	12.6	1	0.8	0.8	14.4	10.8	-	-	-	-	-	0.5	0.8	0.8	7.2	5.4
15	1	0.9	0.81	8.1	5.9	1	0.8	0.8	7.2	5.4	1	0.8	0.8	(7.2)	(5.4)	1	0.8	(0.8)	(6.2)	(5.4)
16	1	1	0.84	102.2	66.3	1	0.8	0.82	81.7	57.2	0.5	0.8	0.82	(40.9)	(28.6)	0.5	0.9	0.83	46	30.8
17	1	1	0.78	22.4	18.1	1	0.8	0.78	17.9	14.5	0.5	0.8	0.79	(9)	(7)	-	-	-	-	-
18	1	1	0.83	(96.4)	(64.5)	1	1	0.83	(96.4)	(64.5)	0.5	0.9	0.81	(43.3)	(31.6)	-	-	-	-	-
19	1	1	0.9	20	9.7	1	1	0.9	20	9.7	0.5	1	0.9	10	4.8	-	-	-	-	-
20	1	1	0.82	4.6	3.2	1	1	0.82	4.6	3.2	1	1	0.82	4.6	3.2	1	1	0.82	(4.6)	(3.2)
21	1	1	0.85	134	83	0.5	1	0.85	67	41.5	0.25	1	0.85	(33.5)	(20.7)	0.5	1	0.85	67	41.5

Приложение 1

Продолжение таблицы 1.2

22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	0.83	(15)	(10)	-	-	-	-	-
V																				
23	1	1	0.84	8	5.2	1	1	0.84	8	5.2	0.5	1	0.84	4	2.6	0.5	1	0.84	4	2.6
24	1	1	0.79	8.4	5.3	1	1	0.79	8.4	5.3	1	1	0.79	8.4	5.3	-	-	-	-	-
25	1	1	0.83	6.4	4.3	1	1	0.83	6.4	4.3	1	1	0.83	6.4	4.3	0.5	1	0.83	3.2	2.1
26	1	1	0.84	187.5	121.8	1	1	0.84	187.5	121.8	0.5	1	0.84	125	81.2	1	1	0.84	187.5	121.8
27	-	-	-	-	-	0.5	1	0.85	31.7	19.6	-	-	-	-	-	1	1	0.85	63.4	39.3
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.8	0.86	29.2	17.3	1	0.9	0.86	29.2	17.3
29	1	1	0.87	(21.6)	(12.2)	1	1	0.87	(21.6)	(12.2)	1	0.9	0.86	(21.6)	(12.7)	0.5	1	0.87	(10.8)	(6)
30	1	1	0.83	6.8	4.5	1	1	0.83	6.8	4.5	1	0.9	0.82	6.1	4.3	-	-	-	-	-
31	1	1	0.82	60	42	1	1	0.82	60	42	0.5	1	0.82	30	21	-	-	-	-	-
32	1	1	0.86	40	23.8	1	1	0.86	40.4	23.8	0.5	1	0.86	20.2	11.9	0.25	1	0.86	(10.1)	(5.9)
33	1	1	0.8	64	48.6	1	1	0.8	64.8	48.6	0.5	1	0.8	32.4	24.3	-	-	-	-	-
VI																				
34	1	1	0.85	(2.1)	(1.3)	1	1	0.85	(2.1)	(1.3)	1	1	0.85	(2.1)	(1.3)	-	-	-	-	-
35	1	1	0.84	(1.3)	(0.8)	1	1	0.84	(1.3)	(0.8)	1	1	0.84	(1.3)	(0.8)	-	-	-	-	-
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	0.82	(51.7)	(36.2)	1	0.7	0.8	(36.2)	(27.8)
VII																				
37	1	1	1	42	-	1	1	1	(42)	-	1	1	1	(42)	-	-	-	-	-	-
38	1	1	1	15	-	1	1	1	(15)	-	1	1	1	(15)	-	-	-	-	-	-
39	1	1	1	17	-	1	1	1	(17)	-	1	1	1	(17)	-	-	-	-	-	-
40	1	1	1	17	-	1	1	1	(17)	-	1	1	1	(17)	-	-	-	-	-	-
41	1	1	1	5.7	-	1	1	1	(5.7)	-	1	1	1	(5.7)	-	-	-	-	-	-
42	1	1	0.87	(18.8)	(10.5)	1	0.87	1	(18.8)	(10.5)	0.5	1	0.87	(9.4)	(5.3)	-	-	-	-	-
43	1	1	0.7	(2.5)	(2.5)	1	1	0.7	(2.5)	(2.5)	1	1	0.7	(2.5)	(2.5)	-	-	-	-	-
44	1	1	1	(8)	-	1	0.8	1	(6.4)	-	1	0.5	1	(4)	-	-	-	-	-	-
45	1	1	0.8	5.6	3.1	1	1	0.87	5.6	3.1	1	1	0.87	5.6	3.1	1	1	0.87	5.6	3.1
VIII																				
46	-	-	-	-	-	1	1	-	(765)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	1	1	0.8	(23.7)	(17.7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	-	-	-	-	-	1	1	0.85	(13.4)	(8.3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Приложение 1

Продолжение таблицы 1.2

49	-	-	-	-	-	1	1	0.85	(6)	(3.7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	1	1	0.85	(6.9)	4.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51	-	-	-	-	-	1	1	0.87	(16.8)	9.4	1	1	0.87	16.8	9.4	-	-	-	-
IX																			
52	1	1	0.81	33.6	24.5	1	1	0.81	33.6	24.5	1	0.5	0.81	16.8	12.3	1	1	0.81	33.6
53	1	1	0.86	11.2	7	1	1	0.86	11.2	7	1	0.5	0.86	5.6	3.3	1	1	0.86	11.2
54	-	-	-	-	-	1	1	0.87	9.0	5	1	0.5	0.87	4.5	2.5	-	-	-	-
X																			
55	1	1	-	47	-	1	1	-	47	-	1	0.5	-	23.5	-	1	1	-	47
56	1	0.5	-	(0.8)	-	1	0.5	-	(0.8)	-	1	0.5	-	(0.8)	-	1	1	-	(16)
57	1	1	-	(2.8)	-	1	1	-	(2.8)	-	1	0.5	-	(1.4)	-	1	1	-	(2.8)
58	1	1	-	(0.5)	-	1	1	-	(0.5)	-	-	-	-	-	-	1	1	-	(0.5)
59	1	1	-	(0.5)	-	1	1	-	(0.5)	-	-	-	-	-	-	1	1	-	(0.5)

Приложение 1

Таблица 1.3. Варианты систем управления (систем возбуждения и автоматического регулирования напряжения генераторов)

Номер варианта	Система управления судовой электроэнергетической установкой (система возбуждения и автоматического регулирования напряжения генераторов)	Источник информации
1.	Микропроцессорная система управления судовой электроэнергетической установкой типа ASA-S. Измерение частоты и разности фаз напряжений синхронизируемых генераторов (с. 110-137 – общие сведения о системе; с. 137 – 144 - измерение частоты и разности фаз напряжений синхронизируемых генераторов)	Л1, с. 110 – 144
2.	Микропроцессорная система управления судовой электроэнергетической установкой типа ASA-S. Измерение величины тока и напряжения (с. 110-137 – общие сведения о системе; с. 144 – 153 - измерение величины тока и напряжения)	Л1, с. 110 – 137, с. 144 – 153
3.	Микропроцессорная система управления судовой электроэнергетической установкой типа ASA-S. Математическое обеспечение системы ASA-S. (с. 110 - 137 – общие сведения о системе; с. 153 – 158 - математическое обеспечение системы ASA-S.)	Л1, с. 110 – 137, с. 153 - 158
4.	Микропроцессорная система управления судовой электроэнергетической установкой типа ASA-S. Вспомогательные алгоритмы подготовки исходной информации для основных алгоритмов управления генераторными агрегатами (с. 110 - 137 – общие сведения о системе; с. 159 – 164 - вспомогательные алгоритмы подготовки исходной информации для основных алгоритмов управления генераторными агрегатами)	Л1, с. 110 – 137, с. 159 – 164
5.	Микропроцессорная система управления судовой электроэнергетической установкой типа ASA-S. Алгоритмы пуска, остановки и поддержания генераторного агрегата в готовности к немедленному пуску (с. 110 - 137 – общие сведения о системе; с. 164 – 169 - алгоритмы пуска, остановки и поддержания генераторного агрегата в готовности к немедленному пуску)	Л1, с. 110 – 137, с. 164 – 169

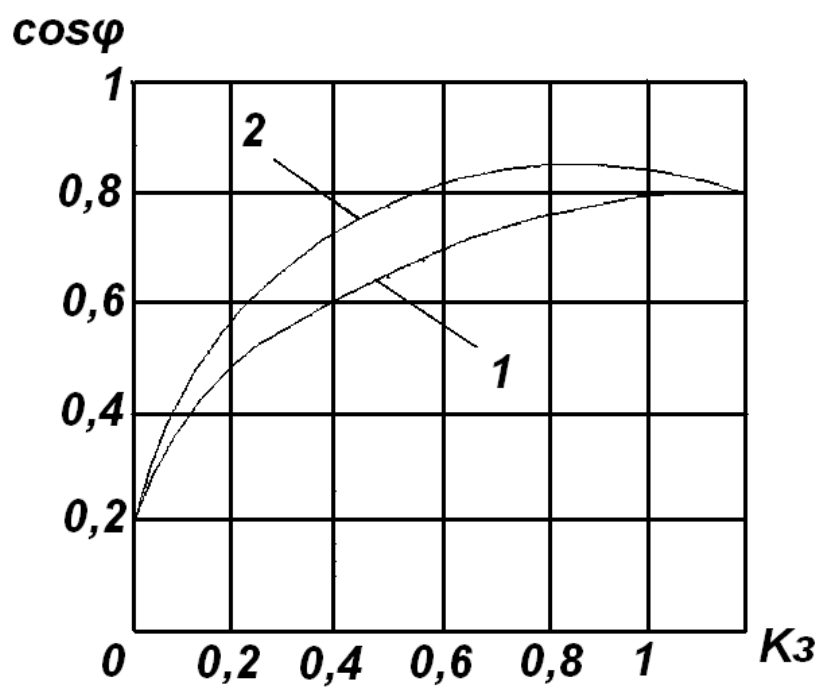
6.	Микропроцессорная система управления судовой электроэнергетической установкой типа ASA-S. Алгоритмы управления судовыми электроэнергетическими системами (ЭЭС). Вспомогательные алгоритмы подготовки исходной информации для основных алгоритмов управления ЭЭС (с. 110 - 137 – общие сведения о системе; с. 170 – 172 - вспомогательные алгоритмы подготовки исходной информации для основных алгоритмов управления ЭЭС)	Л1, с. 110 – 137, с. 170 – 172
7.	Микропроцессорная система управления судовой электроэнергетической установкой типа ASA-S. Алгоритмы управления судовыми электроэнергетическими системами (ЭЭС). Алгоритм разгрузки генераторного агрегата перед отключением его от сети и алгоритм синхронизации генераторного агрегата и включения его на параллельную работу (с. 110 - 137 – общие сведения о системе; с. 172 – 176 - алгоритм разгрузки генераторного агрегата перед отключением его от сети и алгоритм синхронизации генераторного агрегата и включения его на параллельную работу)	Л1, с. 110 – 137, с. 172 – 176
8.	Микропроцессорная система управления судовой электроэнергетической установкой типа ASA-S. Алгоритмы управления судовыми электроэнергетическими системами (ЭЭС). Алгоритм регулирования частоты и распределения активной нагрузки между параллельно работающими генераторными агрегатами (с. 110 - 137 – общие сведения о системе; с. 177 – 178 - алгоритм регулирования частоты и распределения активной нагрузки между параллельно работающими генераторными агрегатами)	Л1, с. 110 – 137, с. 177 – 178
9.	Микропроцессорная система управления судовой электроэнергетической установкой типа ASA-S. Алгоритмы управления судовыми электроэнергетическими системами (ЭЭС). Алгоритм включения программируемых приемников (потребителей) электроэнергии и алгоритм выхода ЭЭС из обесточивания (с. 110 - 137 – общие сведения о системе; с. 178 – 183 - алгоритм включения программируемых приемников (потребителей) электроэнергии и алгоритм выхода ЭЭС из обесточивания)	Л1, с. 110 – 137, с. 178 – 183
10.	Микропроцессорная система управления судовой электростанцией Gearas. Блок управления генераторным агрегатом DSG 822. Подсистема пуска дизеля (с. 183 - 189 – общие сведения о системе; с. 189 – 209 - блок управления генераторным агрегатом DSG 822; с. 209 – 214 – пуск дизеля)	Л1, с. 183 – 214

11.	Микропроцессорная система управления судовой электростанцией Gearas. Блок управления генераторным агрегатом DSG 822. Подсистема остановки дизеля (с. 183 - 189 – общие сведения о системе; с. 189 – 209 - блок управления генераторным агрегатом DSG 822; с. 214 – 217 – остановка дизеля)	Л1, с. 183 – 209, с. 214 - 217
12.	Микропроцессорная система управления судовой электростанцией Gearas. Блок управления генераторным агрегатом DSG 822. Подсистемы измерения частоты и синхронизации генераторов, регулирования частоты и распределения мощности (с. 183 - 189 – общие сведения о системе; с. 189 – 209 - блок управления генераторным агрегатом DSG 822; с. 218 – 222 – подсистемы измерения частоты и синхронизации генераторов, регулирования частоты и распределения мощности)	Л1, с. 183 – 209, с. 218 - 222
13.	Микропроцессорная система управления судовой электростанцией Gearas. Блок управления генераторным агрегатом DSG 822. Подсистемы защиты генераторов, управления одиночным режимом работы и передачи информации между блоками системы (с. 183 - 189 – общие сведения о системе; с. 189 – 209 - блок управления генераторным агрегатом DSG 822; с. 222 – 230 – подсистемы защиты генераторов, управления одиночным режимом работы и передачи информации между блоками системы)	Л1, с. 183 – 209, с. 222 - 230
14.	Микропроцессорная система управления судовой электростанцией Gearas. Блок управления нагрузкой LSG 822. Подсистемы индикации и управления резервным генераторным агрегатом (с. 183 - 189 – общие сведения о системе; с. 189 – 194 – микропроцессорная плата ZK 408; с. 230 – 238 – лицевая плата FPL 401, с. 238 – 248 – подсистемы индикации и управления резервным генераторным агрегатом)	Л1, с. 183 – 194, с. 230 - 248
15.	Микропроцессорная система управления судовой электростанцией Gearas. Блок управления нагрузкой LSG 822. Подсистемы управления при маневренной операции и контроля включения мощных потребителей (с. 183 - 189 – общие сведения о системе; с. 189 – 194 – микропроцессорная плата ZK 408; с. 230 – 238 – лицевая плата FPL 401, с. 248 – 253 – подсистемы управления при маневренной операции и контроля включения мощных потребителей)	Л1, с. 183 – 194, с. 230 – 238 с. 248 - 253

16.	Микропроцессорная система управления судовой электростанцией DELOMATIC. Подсистемы управления пуском и синхронизацией генераторов (с. 253 - 277 – общие сведения о системе; с. 278 – 291 – подсистемы управления пуском и синхронизацией генераторов)	Л1, с. 253 – 291
17.	Микропроцессорная система управления судовой электростанцией DELOMATIC. Подсистема регулирования частоты и распределения активной нагрузки (с. 253 - 277 – общие сведения о системе; с. 292 – 297 – подсистемы регулирования частоты и распределения активной нагрузки)	Л1, с. 253 – 277, с. 292 – 297
18.	Микропроцессорная система управления судовой электростанцией DELOMATIC. Подсистемы остановки генераторного агрегата и поддержания дизель-генератора в горячем резерве (с. 253 - 277 – общие сведения о системе; с. 297 – 305 – подсистемы остановки генераторного агрегата и поддержания дизель-генератора в горячем резерве)	Л1, с. 253 – 277, с. 297 – 305
19.	Микропроцессорная система управления судовой электростанцией DELOMATIC. Подсистемы управления пуском и остановкой генератора по нагрузке на ГРЩ и формирования очереди генераторов (с. 253 - 277 – общие сведения о системе; с. 305 – 314 – подсистемы управления пуском и остановкой генератора по нагрузке на ГРЩ и формирования очереди генераторов)	Л1, с. 253 – 277, с. 305 – 314
20.	Микропроцессорная система управления судовой электростанцией DELOMATIC. Подсистемы управления генераторными агрегатами при обесточивании электростанции и при включении мощных потребителей (с. 253 - 277 – общие сведения о системе; с. 314 – 321 – подсистемы управления генераторными агрегатами при обесточивании электростанции и при включении мощных потребителей)	Л1, с. 253 – 277, с. 314 – 321
21.	Микропроцессорная система управления судовой электростанцией DELOMATIC. Подсистемы контроля параметров и защиты генераторных агрегатов (с. 253 - 277 – общие сведения о системе; с. 322 – 331 – подсистемы контроля параметров и защиты генераторных агрегатов)	Л1, с. 253 – 277, с. 322 - 331

22.	Микропроцессорные контроллеры серии Multi-Line 2 для управления судовыми генераторными агрегатами. Использование контроллеров для управления работой дизель-генераторов и валогенератора (с. 335 – 343 – общие сведения о контроллерах; с. 343 – 350 – использование контроллеров для управления работой дизель-генераторов и валогенератора)	Л1, с. 335 – 350
23.	Микропроцессорная система управления судовой электростанцией Gearpas. (Л1, с. 183 – 185). Блок управления генераторным агрегатом GMM10. Центральная плата ZKG-403. Плата трансформаторов тока. (Л8, с. 214 – 222). Функциональное описание работы модуля GMM10 (Л8, с. 229 – 232)	Л1, с. 183 – 185; Л8, с. 214 – 222; Л8, с. 229 – 232
24.	Микропроцессорная система управления судовой электростанцией Gearpas. (Л1, с. 183 – 185). Блок управления генераторным агрегатом GMM10. Центральная плата ZKG-403 (Л8, с. 214 – 219). Плата трансформаторов напряжения. Панель управления и индикации BAT-407 (Л8, с. 222 – 229). Функциональное описание работы модуля GMM10 (Л8, с. 229 – 232)	Л1, с. 183 – 185; Л8, с. 214 – 219; Л8, с. 222 – 232
25.	Микропроцессорная система управления судовой электроэнергетической установкой фирмы NORCONTROL	Л8, с. 232 – 248
26.	Регулятор напряжения типа «COSIMAT N+» для синхронных генераторов типа DCG и DIG. Общие сведения (Л9, с. 85 – 101). Описание функций (Л9, с. 94 – 106).	Л9, с. 85 – 106
27.	Регулятор напряжения типа «COSIMAT N+» для синхронных генераторов типа DCG и DIG. Общие сведения (Л9, с. 85 – 101). Специальные функции (Л9, с. 106 – 116)	Л9, с. 85 – 101; Л9, с. 106 – 116
28.	Регулятор напряжения типа «COSIMAT N+» для синхронных генераторов типа DCG и DIG. Общие сведения (Л9, с. 85 – 101). Специальные функции (Л9, с. 106 – 116)	Л9, с. 85 – 101; Л9, с. 106 – 116
29.	Регулятор напряжения типа «COSIMAT N+» для синхронных генераторов типа DCG и DIG. Общие сведения (Л9, с. 85 – 101). Подключение и настройка (Л9, с. 116 – 130)	Л9, с. 85 – 101; Л9, с. 116 – 130
30.	Регуляторы напряжения и статические системы возбуждения типа UNITROL (ABB) для синхронных машин. Общие сведения (Л9, с. 85 – 101). Подключение и настройка (Л9, с. 116 – 130)	Л9, с. 154 – 166

Коэффициент мощности $\cos\varphi = P/S$



Изменение $\cos\varphi$ АД в зависимости от K_z

- 1 – для АД мощностью до 10 кВт;
- 2 – для АД мощностью свыше 10 кВт.

Технические характеристики генераторов серии МСК, МСС, ГСС

Тип генератора	Мощность, кВт	Номинальное напряжение, В	Частота вращения, об/мин	КПД, %	Соединение фаз
генераторы серии МСК					
МСК82-4	30	400 и 230	1500	86,0	звездой с выведенной нулевой точкой
МСК83-4	50	400 и 230	1500	87,5	
МСК91-4	75	400 и 230	1500	88,7	
МСК92-4	100	400 и 230	1500	89,9	
МСКФ92-4	100	400 и 230	1500	89,9	
МСК102-4	150	400 и 230	1500	90,2	400 В - звездой с выведенной нулевой точкой, 230 В – без выведения нулевой точки
МСК103-4	200	400 и 230	1500	90,5	
МСКФ103-4	200	400 и 230	1500	90,5	
МСК113-4	300	400	1500	91,5	
МСК500-1500	400	400 и 230	1500	91,7	400 В – звездой, 230 В - тре- угольником
МСК625-1500	500	400 и 230	1500	92,0	
МСК750-1500	600	400	1500	92,5	звездой
МСК940-1500	750	400	1500	93,0	
МСК1250-1500	1000	400	1500	93,0	
МСК1560-1500	1250	400	1500	93,5	
МСК1875-1500	1500	400	1500	93,5	
МСК375-1000	300	400 и 230	1000	92,5	400 В – звездой, 230 В - тре- угольником
МСК500-1000	400	400 и 230	1000	90,2	
МСК625-1000	500	400 и 230	1000	90,6	
МСК790-1000	630	400	1000	91,2	звездой
МСК1000-1000	800	400	1000	92,0	
МСК1250-750	1000	400	750	94,0	
генераторы серии МСС И типа ГСС					
МСС82-4	30	400 и 230	1500	85,5	звездой с выведенной нулевой точкой
МСС83-4	50	400 и 230	1500	88,5	
МСС91-4	75	400 и 230	1500	89,5	
МСС92-4	100	400 и 230	1500	91,0	
МССФ92-4	100	400	1500	91,0	
МСС102-4	160	400 и 230	1500	91,5	400 В - звездой с выведенной нулевой точкой, 230 В - тре- угольником
МСС103-4	200	400 и 230	1500	92,0	
МСС115-8	200	400	750	92,0	
ГСС103-8М	100	400 и 230	750	90,0	звездой с выведенной нулевой точкой
ГСС114-8М	100	400	750	91,0	
Генераторы серии ГСН					
ГСН 42/13-4	30	400 и 230	1500	88,5	звездой с выведенной нулевой точкой
ГСН 42/28-4	60	400 и 230	1500	88,5	
ГСН 49/21-4	75	400 и 230	1500	89	
ГСН 49/27-4	100	400 и 230	1500	90,5	
ГСН 59/26-4	160	400	1500	90,5	
ГСН 59/31-4	200	400	1500	91,5	
ГСН 59/39-4	250	400	1500	92,5	
ГСН 74/31-4	315	400	1500	92,5	
ГСН 59/29-8	100	400 и 230	750	91	
ГСН 74/28-8	160	400	750	91,5	
ГСН 74/35-8	200	400	750	92	
ГСН 74/44-8	250	400	750	92,5	
ГСН 85/40-8	315	400	750	93	

Основные технические данные генераторов серии БГ

тип генератора	генератор без фильтра охлаждения				генератор с фильтром охлаждения				
параметры генератора	БГ-30	БГ-60	БГ-100	БГ-315	БГ-30	БГ-60	БГ-100	БГ-200	БГ-315
ном. мощность, кВт	30	60	100	315	30	60	100	200	315
напряжение, В	400/230			400	400/230		400		
ток статора, А	54,2/93,5	108/188	181/314	567	50,5/88	102,8/179	171/298	342	541
КПД., %	88,5	90,5	91	93	88,5	90,5	91	92	93
$\cos \varphi_{\text{ном}}$, о.е.	0,8								
ном. частота вращения, об/мин	1500								
соединение фаз	Звезда с выделенным нулем								
частота, Гц	50								
мощность при $t_{\text{окр. среды}} 50^{\circ}\text{C}$, кВт	28	57	96	300	27	54,5	91	182	288

Расчетные активные и реактивные сопротивления и постоянные времени генераторов серий МСС и ГМС, типов ГСС и ТК2-2

генераторы серий ГМС и типа ТК2-2																
ГМС13-16-12	230	–	0,0041	–	0,81	0,08	1,1	0,6	0,18	0,12	0,12	0,015	1,15	0,2	0,016	0,006
	400	–	0,011	–	0,81	0,08	1,05	0,6	0,18	0,12	0,12	0,05	1,2	0,2	0,019	0,006
ГМС13-31-12	400	–	0,01	–	0,69	0,084	1,2	0,7	0,2	0,13	0,14	0,017	1,3	0,2	0,018	0,006
ГМС13-41-12	400	–	0,006	–	0,63	0,075	1,1	0,63	0,18	0,12	0,12	0,06	1,4	0,23	0,02	0,007
ГМС14-29-12	400	–	0,005	–	0,6	0,085	1,1	0,6	0,2	0,13	0,13	0,055	1,6	0,23	0,02	0,01
ГМС14-41-12	400	–	0,003	–	0,54	0,073	1,0	0,57	0,17	0,11	0,11	0,053	1,8	0,31	0,023	0,01
ТК2-2	400	–	0,0002	–	0,184	0,148	2,10	0,21	0,245	0,173	0,211	0,051	4,3	0,5	0,1	0,062

Тип генера- тора	Напряжение, В	Активное сопротивление, Ом				Индуктивное со- противление, о.е.		Индуктивное сопротивление, о.е.					Постоянные времени, с				
		Фазы статора		Фазы ротора		Расщепления об- мотки статора x_{σ}	По продольной оси x_d	По поперечной оси x_q	Переходное в продольной оси x_d'	сверхпереходное в продольной оси x_d''	Отрицательной послед- овательности фаз x_2	Нулевой последо- вательности фаз x_0	T'_{d0}	T'_d	T_a	T''_d	
		При 20 ⁰ С	При 15 ⁰ С	При 20 ⁰ С	При 15 ⁰ С												
генераторы серий МСС и типа ГСС																	
МСС82-4	230	0,0512	–	0,987	–	0,108	2,23	1,1	0,258	0,178	0,238	0,047	1,28	0,148	0,019	0,0039	
	400	0,162	–	0,987	–	0,108	2,23	1,1	0,258	0,178	0,238	0,047	1,28	0,148	0,019	0,0039	
МСС83-4	230	0,0268	–	1,38	–	0,086	2,25	0,896	0,236	0,155	0,163	0,0023	1,69	0,177	0,014	0,004	
	400	0,069	–	1,38	–	0,086	2,25	0,896	0,236	0,155	0,163	0,0023	1,69	0,177	0,014	0,004	
МСС91-4	230	0,0134	–	2,23	–	0,08	1,91	0,8	0,22	0,151	0,13	0,063	1,67	0,192	0,019	0,016	
	400	0,0446	–	2,23	–	0,075	1,8	0,76	0,21	0,155	0,17	0,059	1,65	0,192	0,016	0,0156	
МСС92-4	230	0,0086	–	2,62	–	0,061	1,87	0,776	0,2	0,14	0,158	0,056	1,79	0,191	0,022	0,017	
МССФ92-4	400	0,0264	–	2,62	–	0,071	1,93	0,79	0,21	0,152	0,17	0,063	1,83	0,2	0,021	0,017	
МСС102-4	230	0,0205	–	0,09	–	0,067	2,23	1,13	0,305	0,22	0,12	0,05	2,78	0,27	0,016	0,019	
	400	0,0205	–	0,09	–	0,067	2,23	1,13	0,305	0,22	0,12	0,05	2,78	0,27	0,016	0,019	
МСС103-4	230	0,0093	–	0,116	–	0,05	1,55	0,87	0,14	0,087	0,09	0,005	1,93	0,163	0,023	0,022	
	400	0,0093	–	0,116	–	0,05	1,55	0,87	0,14	0,087	0,09	0,005	1,93	0,163	0,023	0,022	
МСС115-8	400	0,0083	–	0,256	–	0,084	1,53	0,78	0,238	0,17	0,18	0,07	1,6	0,24	0,041	0,026	
ГСС103-8	230	0,0094	–	0,151	–	0,085	1,91	1,13	0,235	0,136	0,138	0,044	1,72	0,211	0,019	0,015	
	400	0,0238	–	0,151	–	0,085	1,91	1,13	0,235	0,136	0,138	0,044	1,72	0,211	0,019	0,015	

ГМС13-16-12	230	–	0,0041	–	0,81	0,08	1,1	0,6	0,18	0,12	0,12	0,015	1,15	0,2	0,016	0,006
	400	–	0,011	–	0,81	0,08	1,05	0,6	0,18	0,12	0,12	0,05	1,2	0,2	0,019	0,006
ГМС13-31-12	400	–	0,01	–	0,69	0,084	1,2	0,7	0,2	0,13	0,14	0,017	1,3	0,2	0,018	0,006
ГМС13-41-12	400	0,0095	0,006	0,23	0,63	0,073	1,4	0,63	0,18	0,12	0,12	0,08	1,37	0,23	0,02	0,007
ГМС14-29-12	400	–	0,005	–	0,6	0,085	1,1	0,6	0,2	0,13	0,13	0,055	1,6	0,23	0,02	0,01
ГМС14-41-12	400	–	0,003	–	0,54	0,073	1,0	0,57	0,17	0,11	0,11	0,053	1,8	0,31	0,023	0,01
ТК2-2	400	–	0,0002	–	0,184	0,148	2,10	0,21	0,245	0,173	0,211	0,051	4,3	0,5	0,1	0,062

Расчетные активные и реактивные сопротивления и постоянные времени генераторов серий МСК

Тип генератора	Напряжение, В	Активное сопротивление, Ом				Индуктивное сопротивление, о.е.		Индуктивное сопротивление, о.е.					Постоянные времени, с			
		Фазы статора		Фазы ротора		Рассеивания об-мотки статора X_0	По продольной оси X_d	По поперечной оси X_q	Переходное в продольной оси X_d'	сверхпереходное в продольной оси X_d''	Отрицательной после-довательности фаз X_2	Нулевой после-довательности фаз X_0	T'_{d0}	T'_d	T_a	T''_d
		При 20°C	При 15°C	При 20°C	При 15°C											
МСК82-4	230	0,0512	–	0,987	–	0,108	2,12	1,0	0,258	0,178	0,238	0,091	1,28	0,148	0,019	0,0027
	400	0,162	–	0,987	–	0,108	2,12	1,0	0,258	0,178	0,238	0,091	1,28	0,148	0,019	0,0027
МСК83-4	230	0,0225	–	1,35	–	0,081	2,0	0,946	0,21	0,143	0,196	0,081	1,57	0,159	0,021	0,0035
	400	0,0616	–	1,35	–	0,081	2,0	0,946	0,21	0,143	0,196	0,081	1,57	0,159	0,021	0,0035
МСК91-4	230	0,0169	–	1,91	–	0,089	2,06	0,875	0,245	0,185	0,213	0,052	1,46	0,166	0,018	0,0083
	400	0,05	–	1,91	–	0,089	2,06	0,875	0,245	0,185	0,213	0,052	1,46	0,166	0,018	0,0083
МСК92-4	230	0,0102	–	2,3	–	0,078	2,08	0,885	0,202	0,176	0,21	0,048	0,645	0,06	0,019	0,0138
МСКФ92-4	400	0,0318	–	2,3	–	0,078	2,08	0,885	0,202	0,176	0,21	0,048	0,645	0,06	0,019	0,0138
МСК102-4	230	0,0069	–	0,097	–	0,074	2,0	1,02	0,189	0,124	0,131	0,022	1,6	0,145	0,014	0,0076
	400	0,020	–	0,097	–	0,076	1,92	0,98	0,186	0,124	0,131	0,022	1,69	0,158	0,014	0,0076
МСК103-4	230	0,0133	–	0,109	–	0,055	1,8	0,93	0,23	0,176	0,16	0,004	1,96	0,233	0,02	0,0075
МСКФ103-4	400	0,0133	–	0,109	–	0,055	1,8	0,93	0,23	0,176	0,16	0,004	1,96	0,233	0,02	0,0075
МСК113-4	400	0,0061	–	0,133	–	0,052	1,55	0,775	0,2	0,122	0,131	0,006	2,48	0,31	0,018	0,006
МСК1250-750	400	–	0,0017	–	0,13	0,094	1,39	0,71	0,23	0,146	0,149	0,0255	2,54	0,42	0,036	0,017
МСК375-1000	400	–	0,0063	–	0,95	0,097	1,8	0,85	0,177	0,148	0,165	0,022	1,88	0,18	0,035	0,0068
	230	–	0,0063	–	0,095	0,097	1,8	0,85	0,177	0,148	0,165	0,022	1,88	0,18	0,035	0,0068

MCK500-1000	400	–	0,0038	–	0,127	0,083	1,76	0,89	0,18	0,133	0,14	0,05	2,5	0,24	0,039	0,008
	230	–	0,0038	–	0,127	0,083	1,76	0,89	0,18	0,133	0,14	0,05	2,5	0,24	0,039	0,008
MCK625-1000	400	–	0,0031	–	0,145	0,095	1,54	0,85	0,24	0,161	0,17	0,03	2,3	0,24	0,044	0,012
	230	–	0,0031	–	0,145	0,095	1,54	0,85	0,24	0,161	0,17	0,03	2,3	0,24	0,044	0,012
MCK790-1000	400	–	0,0022	–	0,164	0,084	1,52	0,83	0,21	0,145	0,16	0,03	2,6	0,34	0,054	0,013
MCK1000-1000	400	–	0,0016	–	0,185	0,088	1,72	0,95	0,24	0,152	0,17	0,03	2,8	0,37	0,048	0,012
MCK500-1500	400	–	0,0037	–	0,115	0,078	2,03	0,955	0,178	0,132	0,145	0,027	2,6	0,22	0,04	0,01
	230	–	0,0037	–	0,115	0,078	2,03	0,955	0,178	0,132	0,145	0,027	2,6	0,22	0,04	0,01
MCK625-1500	400	–	0,003	–	0,093	0,098	2,08	1,0	0,228	0,167	0,182	0,027	3,6	0,36	0,047	0,013
	230	–	0,003	–	0,093	0,098	2,08	1,0	0,228	0,167	0,182	0,027	3,6	0,36	0,047	0,013
MCK750-1500	400	–	0,0022	–	0,105	0,086	2,22	1,04	0,236	0,15	0,156	0,031	3,8	0,39	0,047	0,014
MCK940-1500	400	–	0,0017	–	0,125	0,091	2,02	0,96	0,231	0,158	0,169	0,012	4,0	0,43	0,053	0,014
MCK1250-1500	400	–	0,0012	–	0,121	0,093	1,96	0,91	0,213	0,15	0,159	0,030	3,5	0,36	0,055	0,015
MCK1560-1500	400	–	0,0008	–	0,138	0,069	1,97	0,893	0,194	0,127	0,135	0,032	4,1	0,39	0,057	0,019
MCK1875-1500	400	–	0,0006	–	0,159	0,056	1,92	0,89	0,176	0,11	0,117	0,032	4,2	0,37	0,05	0,015

Таблица 1

Длительные нагрузки кабелей и проводов с предельной температурой жилы 60° С и 75° С при температуре окружающей среды 40гр.С

площадь сечения, мм ²	длительная нагрузка кабелей и проводов, А											
	предельная температура жилы 60° С						предельная температура жилы 75° С					
	Одно- жильных		Двух- жильных		Трех- и четырёх жильных		Одно- жильных		Двух- жильных		Трех- и четырёх жильных	
1	11	8	9	7	7	6	16	14	14	12	11	10
1,5	14	12	12	10	10	8	21	17	18	14	15	12
2,5	20	17	17	15	15	12	29	24	25	20	20	17
4	26	23	23	20	20	16	39	33	33	28	27	23
6	35	29	29	25	25	20	50	43	43	37	35	30
10	47	40	40	34	34	28	67	58	57	49	47	41
16	62	53	53	45	45	37	90	76	76	65	63	53
25	82	70	70	60	60	49	120	107	100	87	84	71
35	100	85	85	70	70	60	145	120	125	100	100	85
50	125	105	105	90	90	75	180	150	155	125	125	105
70	150	130	130	110	110	90	220	185	185	155	155	130
95	185	155	155	130	130	110	270	230	230	195	190	160
120	215	180	180	155	155	125	310	265	265	225	220	185

Таблица 2

Длительные нагрузки кабелей и проводов с предельной температурой жилы 80° С и 95° С при температуре окружающей среды 40гр.С

площадь сечения, мм ²	длительная нагрузка кабелей и проводов, А											
	предельная температура жилы 80° С						предельная температура жилы 95° С					
	одно жильных		дву жильных		трех и че- тырёх жильных		одно жильных		дву жильных		трех и че- тырёх жильных	
1	17	15	15	13	12	11	23	20	20	17	16	14
1,5	22	18	19	15	15	13	29	24	25	20	21	17
2,5	30	25	25	21	21	18	37	31	31	26	26	22
4	41	36	35	31	29	25	48	41	41	35	34	29
6	54	46	46	39	38	32	62	53	53	45	44	37
10	73	62	62	53	51	43	84	71	71	60	59	50
16	96	82	82	70	67	57	110	95	95	81	77	66
25	125	110	105	95	88	77	152	125	130	105	105	88
35	155	130	130	110	110	90	190	160	160	135	135	110
50	190	160	160	135	130	110	240	210	205	180	170	145
70	235	200	200	170	165	140	290	240	240	205	200	170
95	290	240	245	205	200	170	355	305	300	260	250	210
120	335	285	285	240	235	200	415	355	350	300	290	250
150	380	325	320	275	265	225	485	415	410	350	340	290
185	435	375	370	315	305	260	550	470	470	400	385	330
240	510	430	430	365	355	300	655	560	555	475	460	390

Поправочные коэффициенты

площадь сечения жилы, мм ²	поправочные коэффициенты					
	повторно кратковременный ПВ40		кратковременная работа в течение минут			
			30		60	
	кабели и провода с металлической оболочкой	кабели и провода без металлической оболочки	кабели и провода с металлической оболочкой	кабели и провода без металлической оболочки	кабели и провода с металлической оболочкой	кабели и провода без металлической оболочки
1	1,24	1,09	1,06	1,06	1,06	1,06
1,5	1,26	1,09	1,06	1,06	1,06	1,06
2,5	1,27	1,1	1,06	1,06	1,06	1,06
4	1,3	1,14	1,06	1,06	1,06	1,06
6	1,33	1,17	1,07	1,06	1,06	1,06
10	1,36	1,21	1,08	1,06	1,06	1,06
16	1,4	1,26	1,09	1,06	1,06	1,06
25	1,42	1,3	1,12	1,07	1,06	1,06
35	1,44	1,33	1,14	1,07	1,07	1,06
50	1,46	1,37	1,17	1,08	1,08	1,06
70	1,47	1,4	1,21	1,09	1,09	1,06
95	1,49	1,42	1,25	1,12	1,11	1,07
120	1,5	1,44	1,28	1,14	1,12	1,07
150	1,51	1,45	1,32	1,17	1,14	1,08
185	—	—	1,36	1,2	1,16	1,09
240	—	—	1,41	1,24	1,18	1,1

Таблица 4

Длительные нагрузки кабелей и проводов, прокладываемой в местах, где температура окр. среды превышает 40⁰С

материал изоляции кабеля и провода	максимальная допустимая температура, С	поправочный коэффициент для температуры окружающей среды, о.с.		
		45	50	55
резина или поливинилхлорид обычный	600	0,86	0,71	—
резина или поливинилхлорид теплостойкий	75	0,87	0,78	0,72
лакоткань или бутиловая резина	80	0,88	0,82	0,75
азбестоткань или лакостекло	85	0,88	0,83	0,77
Минеральная изоляция или силиконовая резина	95	0,9	0,86	0,8

Перечень кабелей и проводов, применяемых на морских судах

марка	конструкция	Преимущественная область применения
КНР	Кабель с резиновой изоляцией в оболочке из маслостойкой резины, не распространяющей горения	В силовых и осветительных сетях цепях управления сигнализации и межприборных соединениях при напряжении до 690 В переменного или до 1200 В постоянного тока для неподвижной прокладки внутри помещения и на открытой палубе при условии защиты от прямого воздействия солнечной радиации
КНРЭ	То же, в общем экране из медных луженых проволок	То же, в т. ч. в местах, где требуется экранирование кабеля
КНРУ	То же, в усиленной оболочке	То же, что в п. 1, в местах, где возможны механические воздействия
КНРП	То же, в защитной оплетке из стальных оцинкованных проволок	То же, что в п. 3
КНРТ	Кабель с резиновой изоляцией в оболочке из маслостойкой резины, не распространяющей горения	В цепях контроля и тел. связи при напряжении до 400 В перемен или до 500В постоянного тока для неподвижной прокладки внутри помещений и на открыт палубе при условии защит от прямого воздействия солнечной радиации
КНРПТ	То же, что в п. 5, с попарно скрученными жилами	То же что в п. 5
КНРТЭ	То же, что в п. 5, в медном луженом экране	То же, в т. ч. в местах, где требуется экранирование кабеля
КНРПТЭ	То же, что в п. 5, в общем медном луженом экране	То же что в п. 7
КНРЭТ	То же, что в п. 5, с экранированными жилами	То же, что в п. 5, где требуется экранирование кабеля
КНРЭТЭ	То же, что в п. 5, с экранированными жилами в общем медном луженом экране	То же, что в п. 5, где требуется экранирование кабеля
КНРТУ	То же, что в п. 5, в усиленной оболочке	То же, что в п. 5, так же где возможны механические повреждения
КНРк	Кабель с резиновой изоляцией в оболочке из поливинилхлоридного пластика	То же, что в п.1 , при воздействии паров кислоты, щелочей и вредной пыли
КНРЭк	То же, что в п. 5, в медном экране, расположенном между двумя оболочками из полихлорвинилового пластика	То же, что в п. 25 , во взрывоопасных зонах так же где требуется экранирование кабеля
КНРПк	То же, что в п. 5, в защищенной оплетке	То же, что в п.25 в том числе в местах, где возможны механические воздействия
КНРПТ	То же, что в п. 5, с попарно скрученными жилами	То же что в п. 5

КНРТЭ	То же, что в п. 5, в медном луженом экране	То же, в т. ч. в местах, где требуется экранирование кабеля
КНРПТЭ	То же, что в п. 5, в общем медном луженом экране	То же что в п. 7
КНРЭТ	То же, что в п. 5, с экранированными жилами	То же, что в п. 5, где требуется экранирование кабеля
КНРЭТЭ	То же, что в п. 5, с экранированными жилами в общем медном луженом экране	То же, что в п. 5, где требуется экранирование кабеля
КНРТУ	То же, что в п. 5, в усиленной оболочке	То же, что в п. 5, так же где возможны механические повреждения
КНРк	Кабель с резиновой изоляцией в оболочке из поливинилхлоридного пластика	То же, что в п.1 , при воздействии паров кислоты, щелочей и вредной пыли
КНРЭк	То же, что в п. 5, в медном экране, расположенном между двумя оболочками из полихлорвинилового пластика	То же, что в п. 25 , во взрывоопасных зонах так же где требуется экранирование кабеля
КНРПк	То же, что в п. 5, в защищенной оплетке	То же, что в п.25 в том числе в местах, где возможны механические воздействия
КПВГВнг	Кабель повышенной гибкости с изоляцией и оболочкой из поливинилхлоридного пластика, соответствующего категории А стойкой к воздействию масел и бензина, попадающих на поверхность	В силовых и осветительных цепях, цепях управления, для подключения к подвижным и переносным токоприемникам при напряжении до 660 В переменного или 1000 В постоянного тока для прокладки внутри помещения
КСВВ	Кабель с поливинилхлоридной изоляцией и оболочкой, не распространяющей горение устойчивый к воздействию ГСМ	В силовых и осветительных сетях в цепях управления при напряжении 660 В переменного или 750 В постоянного тока для неподвижной прокладки внутри помещения и на открытой палубе при условии защиты от прямого воздействия солнечной радиации
КРКВ	Кабель с изоляцией из кремнийорганической резины в оболочке из поливинилхлоридного пластика	То же, что в п. 1, в т.ч. в рефрижераторных помещениях
КРКВЭ	Кабель с изоляцией из кремнийорганической резины экран из медной или из медной луженой ленты расположен между двумя оболочками из поливинилхлоридного пластика	То же, что и в п. 17 в т ч в местах, где требуется экранирование кабеля
КСРПВ	Кабель с изоляцией из радиационно-сшитого полиэтилена, оболочкой из поливинилхлоридного пластика	То же, что в п. 5, в т.ч. в рефрижераторных помещениях
КСРПВЭ	Кабель с изоляцией из радиационно-сшитого полиэтилена экран из медной луженой ленты, расположенной между двумя оболочками из поливинилхлоридного	То же, что и в п. 19, в том числе в местах, где требуется экранирование кабеля

	пластиката	
КМПВ	Кабель с полиэтиленовой изоляцией в поливинилхлоридной оболочке	В цепях управления, сигнализации и межприборных соединений в силовых и осветительных сетях при напряжении до 500 В переменного и 750 В постоянного тока для неподвижной прокладки внутри помещений и на открытой палубе, при условии защиты от прямого воздействия солнечной радиации и морской воды
КМПВЭ	То же, что и в п. 37, в общем экране из медных луженых проволок	То же, что и в п. 21, в том числе в местах, где требуется экранирование кабеля
КМПЭВ	Кабель с полиэтиленовой изоляцией с экранированными, частично экранированными или попарно экранированными жилами в поливинилхлоридной оболочке	То же, что и в п. 21
КСВВнг	То же, что и в п. 16, пониженной горючести	То же, что и в п. 16
КСВВЭ	То же, что и в п. 16, в общем экране из медных проволок поверх экрана оболочка из поливинилхлоридного пластика	То же, что и в п. 16, в том числе в местах, где требуется экранирование кабеля
КСВВЭнг	То же, что и в п. 16, сниженной горючестью	То же, что и в п. 25
Провода		
УВГ	Провод гибкий с поливинилхлоридной изоляцией	Для жесткого внутреннего монтажа распределительных устройств, при напряжении до 380 В переменного и до 550 В постоянного тока
УВОГ	То же, что и в п. 16, особо - гибкий	То же, что и в п. 16 для гибких соединений
МШВ	Провод однопроволочный с шелковой изоляцией в поливинилхлоридной оболочке	Для жесткого внутриприборного и межприборного монтажа при напряжении до 1000 В переменного и постоянного тока
МГШВ	Провод многопроволочный с шелковой изоляцией в поливинилхлоридной оболочке	То же, что и в п. 25 для гибких соединений
МГШВЭ	То же, что и в п. 25, экранированный	То же, что и в п. 25, где требуется экранирование
НВ	Провод с изоляцией из поливинилхлоридного пластика	Для жесткого внутреннего монтажа распределительных устройств, при напряжении до 500 В переменного и до 700 В постоянного тока
НВЭ	То же, что и в п. 28, экранированный	То же, что и в п. 28 при необходимости экранирования
НВК	То же, что и в п. 28 с защитной оболочкой из капрона	То же, что и в п. 28
НВКЭ	То же, что и в п. 28, экранированный	
ПВЗ	Провод с поливинилхлоридной изоляцией повышенной гибкости	То же, что и в п. 24, допускается для неподвижной прокладки в силовых и осветительных сетях на судах с динамическими принципами поддержания
ПВ4	То же, что и в п. 36	То же, что и в п. 24

Сопrotивление одной фазы кабельной линии

сечение жилы, мм ²	активное сопротивление, мОм /м для частоты, Гц					
	50			400		
	при температуре К (С)					
	293(20)	338(65)	358(95)	293(20)	338(65)	358(95)
1	18,4	21,6	23,1	—	—	—
1,5	12,3	14,4	15,4	—	—	—
2,5	7,36	8,65	9,25	7,05	8,56	9,25
4	4,6	5,4	5,78	4,45	5,4	5,78
6	3,07	3,6	3,85	2,96	3,6	3,85
10	1,84	2,16	2,31	1,78	2,16	2,31
16	1,15	1,35	1,45	1,11	1,35	1,45
25	0,736	0,865	0,925	0,72	0,88	0,942
35	0,526	0,617	0,66	0,53	0,639	0,684
50	0,368	0,432	0,463	0,38	0,463	0,496
70	0,263	0,309	0,33	0,3	0,359	0,383
95	0,194	0,227	0,243	0,24	0,292	0,313
120	0,153	0,18	0,192	0,21	0,261	0,278
150	0,123	0,144	0,154	0,19	0,232	0,246
185	0,0995	0,117	0,125	0,17	0,212	0,226
240	0,0765	0,09	0,096	0,16	0,191	0,204

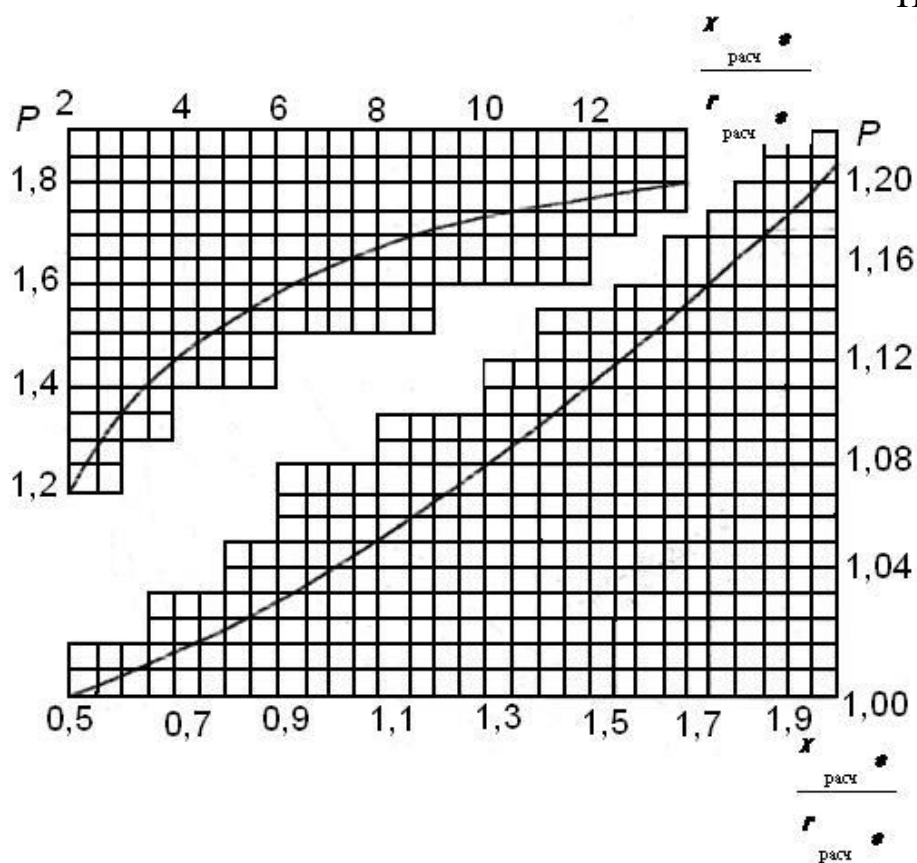
Приложение 7.

Индуктивное (х) и активное (г) сопротивления кабелей при температуре 65⁰С

сечение жилы, мм ²	частота тока 50 Гц		частота тока 400 Гц	
	х	г	х	г
0,75	—	28,8	—	28,8
1	0,118	21,6	0,94	21,6
1,5	0,11	14,4	0,89	14,4
2,5	0,108	8,65	0,86	8,65
4	01,1	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	0,7	1,35
25	0,085	0,085	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	0,6	0,337
95	0,075	0,227	0,6	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

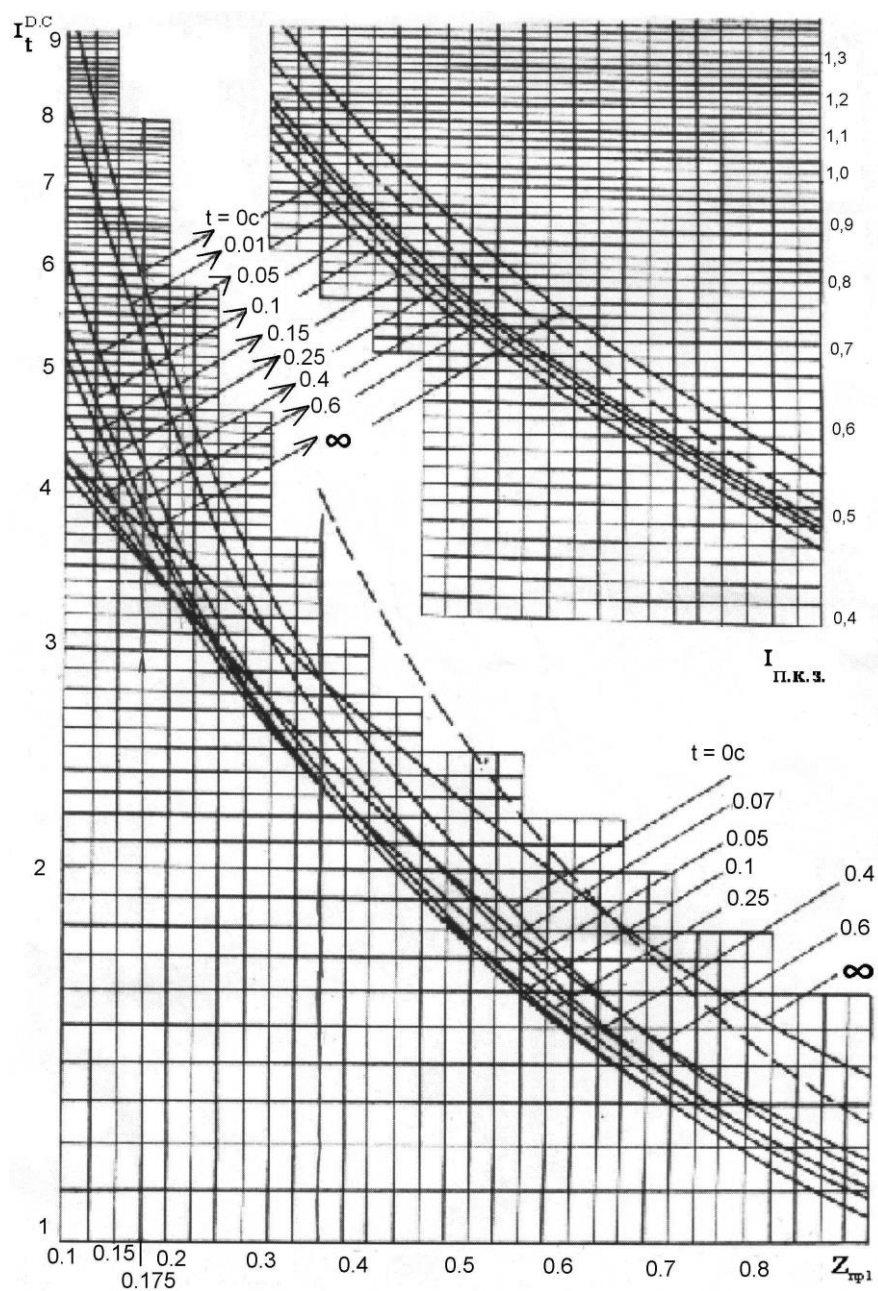
Пример заполнения сводной таблицы

№ п.п.	наименование присоединений	Р, кВт	кабель						потеря U		защитный аппарат		
			I _{расч.} , А	мар- ка ка- беля	ре- жим рабо- бо- ты	I _{доп.} , А	сечение кабеля, мм ²	длина, м	$\Delta U\%$ расчет.	$\Delta U\%$ допуст.	тип	ток уставок, А	
												к.з.	пере- грузки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	генератор G1 (основной)	75,0	263	КНР	S1	290	120	10	0,5	1	АМ	260	260
2	генератор G2 (основной)	75,0	263	КНР	S1	290	120	10	0,5	1	АМ	260	260
3	генератор G3 (основной)	75,0	263	КНР	S1	290	120	10	0,5	1	АМ	260	260
4	рулевая машина	4,2	13,6	КНР	S1	18	2,5	19	2,5	7	АК-50	50	50
5	брашпиль	5,9	21,2	КНР	S1	25	4,	36	4,1	10	АК-50	50	50
6	шпиль	2,8	9,8	КНР	S1	13	1,5	16	2,4	10	АК-50	50	50
7	шлюпочная лебедка	5,9	19,8	КНР	S1	25	4,0	23	2,7	10	АК-50	50	50
8	рефрижераторная установка	3,5	10,0	КНР	S1	13	1,5	20	3,7	7	АК-50	50	50
9	компрессор	4,5	17,8	КНР	S1	25	4,0	26	2,3	7	АК-50	50	50
10	насос охлаждения главного ДВС	0,6	2,3	КНР	S1	13	1,5	28	0,9	7	АК-50	50	50
11	И так далее												
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													

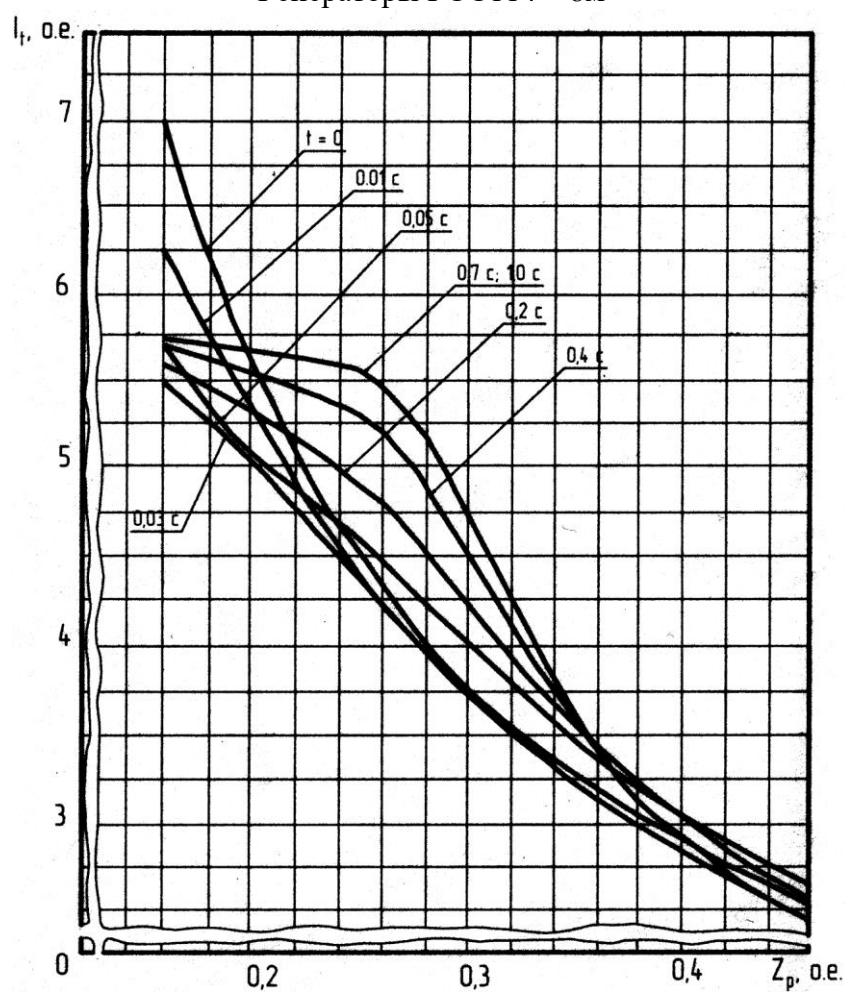


Зависимость $p = f\left(\frac{x_{расч}^*}{r_{расч}^*}\right)$

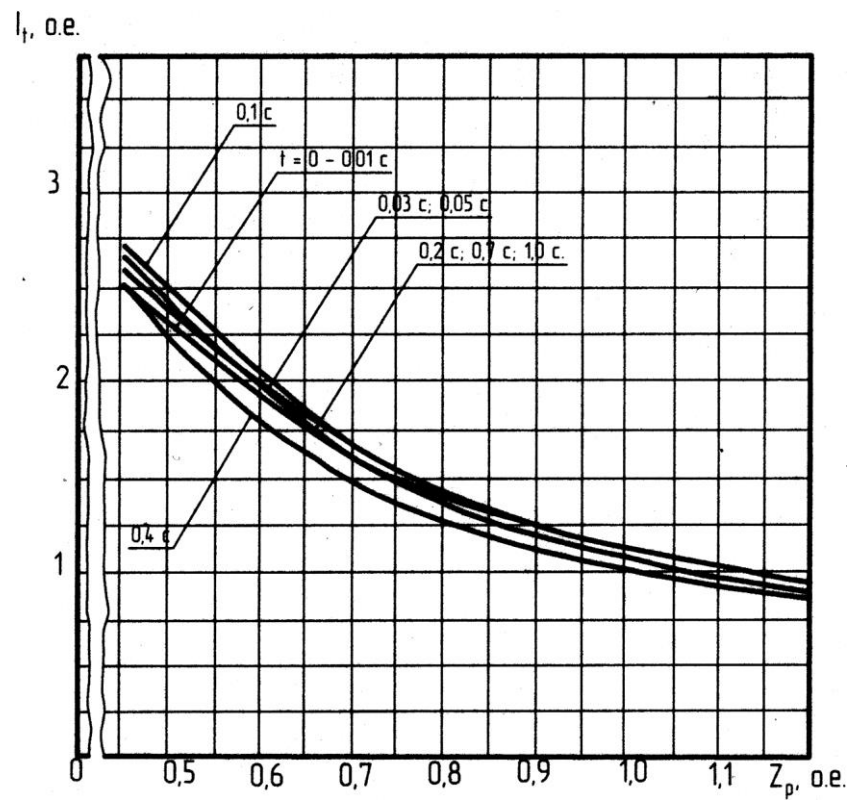
Генераторы МСС и МСК



Генераторы ГСС114 – 8м

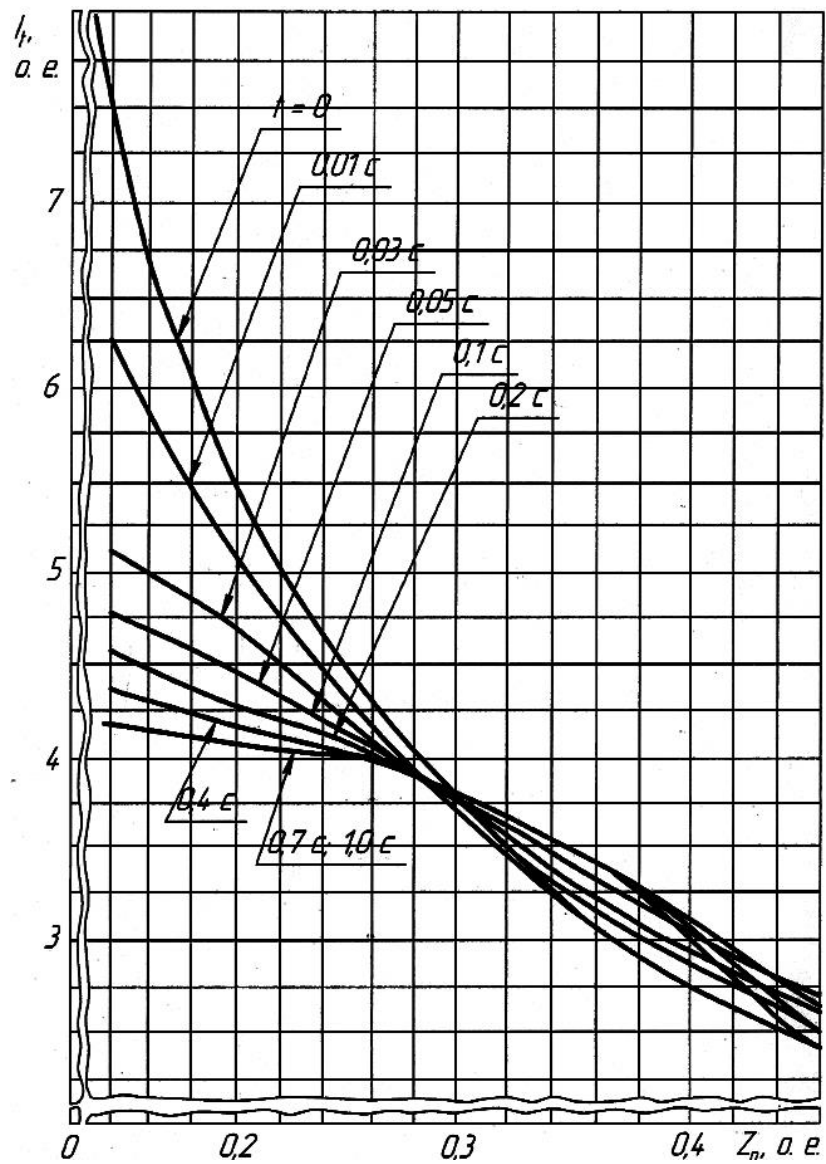


продолжение

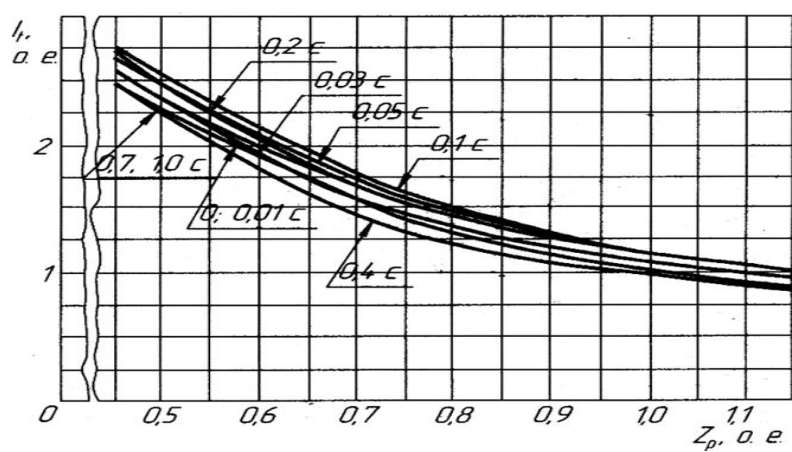


Приложение 12.

Генераторы серии ГСС 103 – 8



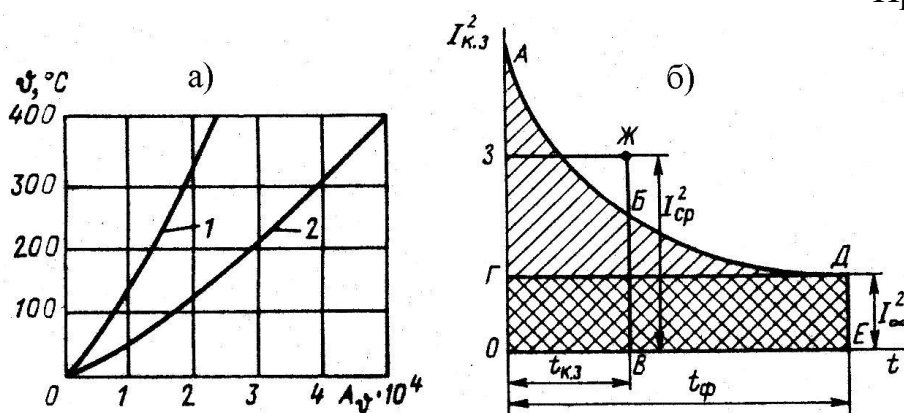
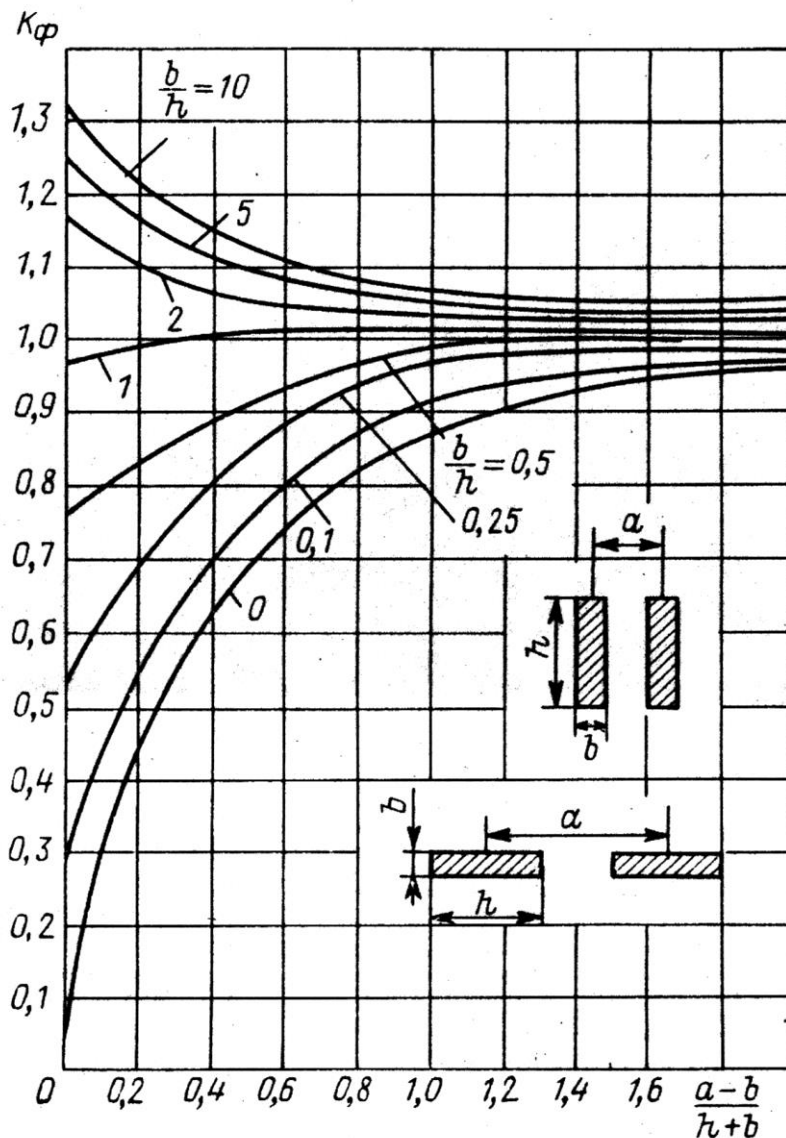
продолжение



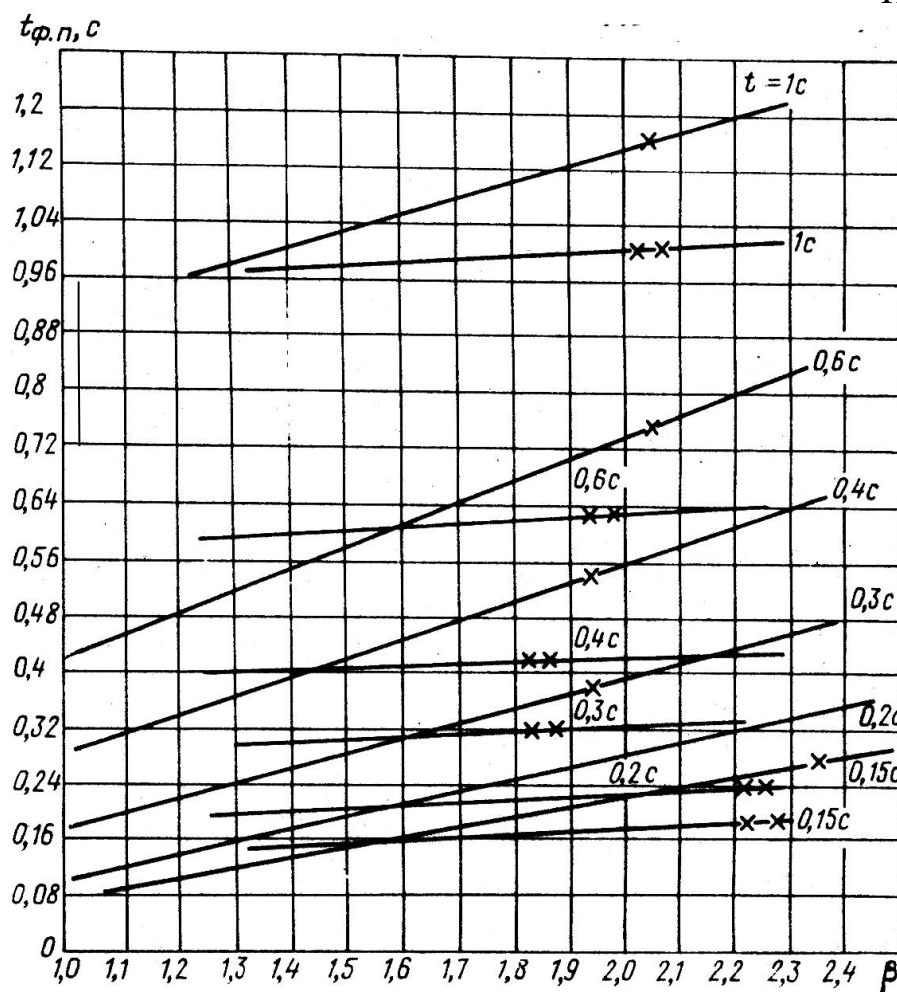
Максимально допустимая нагрузка шин для температуры окружающей среды 40⁰С.

поперечное сечение шины, мм	максимальная допустимая нагрузка, А							
	для переменного тока от 40 до 60 Гц при количестве от- дельных шин				для постоянного тока при количестве отдельных шин			
	окрашенных		неокрашенных		окрашенных		неокрашенных	
	1	2	1	2	1	2	1	2
12\2	163	295	144	260	170	306	157	274
15\2	203	407	182	302	208	366	189	332
15\3	242	431	222	391	254	436	228	398
20\2	268	457	242	410	273	480	247	430
20\3	298	511	272	480	308	576	277	517
20\5	423	718	378	645	431	746	390	670
25\3	392	665	351	600	405	692	357	632
25\5	502	870	455	780	522	883	468	810
30\3	456	782	410	703	468	820	423	745
30\5	587	1030	522	910	817	1040	552	945
40\5	787	1305	678	1170	783	1340	720	1220
40\10	1088	1960	975	1760	1130	2010	1045	1170
50\5	901	1565	620	1430	965	1620	845	1490
50\10	1335	2340	1195	2110	1445	2470	1300	2980
60\5	1075	1830	980	1990	1135	1470	1015	1620
60\10	1560	2730	1430	2420	1630	2880	1430	1800
80\10	2010	3400	1820	3000	2750	3640	1880	3380
100\10	2450	4050	2210	3520	2610	4680	2210	1450

Кривые для определения коэффициента формы шин K_{ϕ}



- а) – зависимость температуры шин и кабелей от значения величины A_v ($\text{A}^2 \text{s/mm}^2$).
 1 – для алюминия;
 2 – для меди.
 б) – график для определения фиктивного времени.



Кривые для определения фиктивного времени периодической составляющей тока к.з. в зависимости от значения величины β .

× - при частоте 50 Гц; ×× - при частоте 400 Гц.

Основные параметры универсальных автоматов избирательного действия серии АМ переменного тока (400 В, 50 Гц)

тип автомата	номинальный ток автомата, А	номинальный ток расцепителя, А	допустимое значение ударного тока к.з., кА	термическая стойкость, $10^{-6} \text{ A}^2 \text{ c}$
АМ – 8	800	130	30	51
		190	50	100
		260	55	170
		375	63	340
		500	70	580
		625	110	1300
		800	110	1300
АМ – 15	1500	1250	110	3000
		1500	110	3000
АМ – 30	3000	2000	120	3000
		2500	120	3000
		3000	120	3000
АМ - 55	5500	4000	120	3000
		5500	120	3000

Примечания. 1. Уставка на полное время срабатывания составляет 0,18; 0,38; 0,63; 1 с. 2. Действующее значение предельного тока к. з. в момент расхождения дугогасительных контактов для автоматов типа АМ-8 должно быть не более 45 кА, типов АМ-15, АМ-30, АМ-55 не более 50 кА.

Основные параметры установочных автоматов избирательного действия серии А3500 переменного тока (400 В, 50 Гц)

тип автомата	номинальный ток автомата, А	номинальный ток расцепителя, А	допустимое значение тока к.з., кА		термическая стойкость, $10^{-6} \text{ A}^2 \text{ c}$
			ударного	действующего	
А3510	160	30	2 500	1 400	2,4
		40	2 500	1 400	2,4
		50	4 000	2 300	5,0
		60	4 000	2 300	5,0
		80	7 000	4 100	12,8
		100	10 000	5 700	20
		120	17 000	10 000	36
		160	20 000	11 000	45
А3520	250	120	25 000	14 000	39
		160	30 000	17 000	58
		200	30 000	17 000	58
		250	35 000	20 000	80
А3530	400	250	40 000	22 500	80
		300	40 000	22 500	100
		400	40 000	22 500	125
А3540	600	250	45 000	25 500	125

		300	45 000	25 500	125
		400	50 000	28 000	125
		500	50 000	28 000	180
		600	50 000	28 000	180

Примечания. 1. Ток трогания в зоне перегрузок составляет $1,4 \cdot I_{\text{ном.}}$, в зоне к.з. - $2 \cdot I_{\text{ном}}$ или $7I_{\text{ном}}$.
2. Уставка на время срабатывания равна 0,15 или 0,33 с.

Основные параметры установочных автоматов серии А3100 переменного тока (50 Гц)

тип автомата	номинальный ток автомата, А	номинальный ток расцепителя, А	допустимое значение ударного тока к.з., кА	
			230 В	400 В
А3110Р	100	15	4000	3200
		20	5000	4000
		25	6500	5000
		30	9000	7000
		40	10000	8500
		50	12000	10000
		60	13000	11000
		80	14000	11500
		100	15000	12000
А3120Р	100	15	7000	5500
		20	7500	6000
		25	11000	9000
		30	12000	10000
		40	15000	13000
		50	22000	19000
		80	23000	20000
		100	26000	22000
			30000	23000
А3130Р	200	120	20000	19000
		150	30000	23000
		200	35000	30000
А3140Р	600	250	35000	32000
		300	40000	35000
		400	40000	35000
		500	50000	50000
		600	50000	50000

Примечание. Автоматы снабжаются электромагнитными или комбинированными расцепителями с уставкой тока трогания в зоне к.з. $10 \cdot I_{\text{ном.}}$ в зоне перегрузок $2 \cdot I_{\text{ном.}}$.

Основные параметры установочных автоматов серии АС–25 и АК50 переменного тока (50 Гц)

тип автомата	число полюсов	номинальный ток расцепителя, А	зона перегрузки		зона к.з.		допустимый ток к.з.	
			ток уставки, А	время, с	ток уставки, А	время, с	ударный	действующий
АС-25-2	2	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4,5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	$1,25 \cdot I_{ном}$	180	$(10 - 13) \cdot I_{ном}$	0,04	3200	2000
АС-25-3	3							
АК-50-2МГ	2	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50	$1,1 \cdot I_{ном}$	1800	$(6 - 12) \cdot I_{ном}$	0,02 - 0,04	9000	5000
АК-50-3МГ	3							

Примечание. Буквы МГ в обозначении типа автомата обозначают, что он имеет расцепитель максимального тока с гидравлическим замедлителем.

Основные параметры установочных автоматов серии А3700 переменного тока (50 Гц)

тип автомата	номинальный ток автомата, А	номинальный ток расцепителя, А	допустимое значение ударного тока к.з., кА
А3710	40	20, 25, 32, 40	18 000
	80	40, 50, 63, 80	36 000
	160	80, 100, 125, 160	75 000
А3720	250	160, 200, 250	75 000
А3730	400	160, 200, 250, 320, 400	100 000
А3740	630	250, 320, 400, 500, 630	100 000

Примечания 1. Автоматы снабжены электромагнитным и полупроводниковым расцепителями. 2. Ток трогания в зоне перегрузки равен $1,25 \cdot I_{ном.р.}$. 3. Ток трогания в зоне к.з. равен 3; 5; 7; $10 \cdot I_{ном.р.}$. 14. Автоматы А3730, А3740 могут иметь замедлитель, обеспечивающий в зоне к.з. выдержку времени 0,1; 0,25; 0,4 с.