

Федеральное агентство по образованию  
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГОУВПО «АмГУ»

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой энергетики  
\_\_\_\_\_ Н.В.Савина  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2007 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«Системы электроснабжения»

для специальности:  
для специальности 140211 - электроснабжение

Составитель: Н.В. Савина

Благовещенск  
2007 г.

Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
энергетического факультета  
Амурского государственного университета

Н.В. Савина

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Системы электроснабжения» для студентов очной, заочной и сокращенной заочной форм обучения специальностей 140211 – «Электроснабжение». – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007, 195 с.

Учебно-методический комплекс ориентирован на оказание помощи профессорско-преподавательскому составу и студентам очной, заочной и сокращенной заочной форм обучения по дисциплине «Системы электроснабжения» специальности 140211 – «Электроснабжение» в формировании специальных знаний в области расчета электрических нагрузок, компенсации реактивной мощности, разработки систем электроснабжения их режимов работы и технико-экономических параметров, режимов нейтрали в распределительных сетях.

© Амурский государственный университет, 2007

© Н.В. Савина

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Типовая программа дисциплины.....	4
2. Рабочая программа дисциплины .....	9
2.1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе .....	10
2.1.1. Цель преподавания дисциплины.....	10
2.1.2. Задачи изучения дисциплины.....	10
2.1.3. Перечень дисциплин с указанием разделов (тем), усвоение которых необходимо при изучении данной дисциплины.....	11
2.2. Содержание дисциплины.....	12
2.2.1. Федеральный компонент.....	12
2.2.2. Наименование тем, их содержание и объем в часах .....	12
2.2.3. Практические занятия, их наименования и объем в часах .....	16
2.2.4. Самостоятельная работа студентов. ....	17
2.2.5. Формы контроля знаний студентов. ....	18
2.2.6. Вопросы к экзаменам и зачетам. ....	18
2.3. Учебно-методические материалы по дисциплине. ....	21
2.3.1. Литература.....	21
2.3.2. Периодические издания (профессиональные журналы).....	22
2.3.3. Информационное обеспечение дисциплины .....	22
2.3.4. Перечень наглядных и других пособий.....	22
2.3.5. Программы для ПЭВМ.....	22
2.3.6. Методические пособия.....	22
2.4. Учебно-методическая карта дисциплины .....	23
3. Краткий конспект лекций.....	24
3.1. Методические указания по проведению лекций.....	24
3.2. Краткий конспект лекций.....	26
Алгоритм расчета трехфазных электрических нагрузок.....	47
4. Практические занятия.....	69
4.1. Методические рекомендации по проведению практических занятий .....	69
4.2. Методические указания по проведению практических занятий .....	71
5. Самостоятельная работа студентов.....	117
5.1. График самостоятельной работы студентов.....	117
5.2. Методические указания по выполнению домашних заданий и контрольных работ... ..	118
6. Перечень программных продуктов, используемых студентами при изучении данной дисциплины .....	153
7. Методические указания по применению современных информационных технологий .....	154
8. Контроль качества образования .....	156
8.1. Методические указания профессорско-преподавательскому составу по организации межсессионного и экзаменационного контроля знаний студентов. ....	156
8.2. Фонды тестовых и контрольных заданий для оценки качества знаний .....	159
8.3. Экзаменационный контроль.....	191
9. Карта обеспеченности дисциплины кадрами профессорско-преподавательского состава.....	193
10. Список использованных источников .....	194

# 1. Типовая программа дисциплины

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель Департамента образовательных  
программ и стандартов профессионального образования

\_\_\_\_\_ Л.С.Гребнев

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2001г.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Рекомендуется Минобразованием России для направления подготовки  
специалистов 650900 - ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА.

Специальность 140211 - Электроснабжение

## 1. Цели и задачи дисциплины.

Целью изучения дисциплины является формирование у студентов систематических знаний по вопросам проектирования и эксплуатации комплексных систем электроснабжения городов и промышленных предприятий.

Задачами изучения дисциплины являются: ознакомление студентов с научными основами построения систем электроснабжения, методиками формирования величины расчетной нагрузки на различных уровнях системы электроснабжения, технико-экономическими моделями, используемыми при выборе типа и параметров электротехнического оборудования. Важное значение придается анализу и синтезу схем распределительных электрических сетей, вопросам компенсации реактивной мощности. Кроме того, в круг задач изучения дисциплины входит изучение показателей качества электрической энергии и методов и средств введения их в допустимые пределы.

## 2. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

В результате изучения дисциплины студенты должны;

- знать закономерности формирования величины расчетной нагрузки на различных уровнях системы электроснабжения и практические методы ее расчета, типы схем, применяемых в системах электроснабжения и их конструктивное выполнение, типы оборудования, методы расчета параметров режимов, нормативные показатели качества электроэнергии;

- уметь составить схему замещения электрической сети, выбрать электротехническое оборудование и кабели необходимого типа и параметров;

- иметь навыки определения величин расчетных нагрузок, проектирования на вариантной основе схем электроснабжения промышленных предприятий и городов с расчетом параметров режима сети и определением показателей качества электроэнергии в ее расчетных узлах.

## 3. Объем дисциплины и виды учебной работы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
Общая трудоемкость дисциплины	100	9
Аудиторные занятия	51	9
Лекции	34	9
Лабораторные работы ( ЛР )	17	9
Самостоятельная работа	49	9
Курсовой проект	27	9
Подготовка к ЛР	22	9
Вид итогового контроля		Зачет Экзамен

## 4. Содержание дисциплины.

### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ЛР
1	Структуры и параметры систем электроснабжения.	*	
2	Расчетные электрические нагрузки электроприемников, потребителей, элементов и узлов нагрузки систем электроснабжения.	*	*
3	Компенсация реактивной мощности. Нагрузочная способность и выбор параметров основного электрооборудования.	*	*
4	Режим нейтрали в распределительных сетях. Типы схем, применяемые в системах электроснабжения городов и промышленных предприятий. Режимы работы и технико-экономические характеристики, характеристики параметров режимов.	*	*
5	Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Методы и средства введения параметров качества электроэнергии в допустимые ГОСТом пределы.	*	*

### 4.2. Содержание разделов дисциплины.

#### 4.2.1. Структуры и параметры систем электроснабжения.

Общая характеристика систем электроснабжения городов и промышленных предприятий, их общность и различия, социально-экономический и экологический аспекты.

4.2.2. Расчетные электрические нагрузки элементов систем электроснабжения.

Понятие расчетной нагрузки. Методика формирования величины расчетной нагрузки. Вероятностно-статистический метод как основа практических методик определения расчетной нагрузки элементов систем электроснабжения на различных ее уровнях. Общее и различия в практических методах определения расчетной нагрузки элементов систем электроснабжения городов и промышленных предприятий.

4.2.3. Компенсация реактивной мощности. Нагрузочная способность и выбор параметров основного электрооборудования.

Проблема компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения. Экономические и технические характеристики различных видов компенсирующих устройств. Типы компенсации реактивной мощности. Экономические и технические критерии выбора параметров основного электрооборудования электрических сетей среднего и низшего напряжений. Учет категории надежности электроснабжения электроприемников и величин допускаемых систематических и послеаварийных перегрузок при выборе

количества и мощности трансформаторов городских и цеховых подстанций. Влияние мощности устанавливаемых компенсирующих устройств на выбор мощности цеховых трансформаторных подстанций и параметров электрооборудования.

4.2.4. Режим нейтрали в распределительных сетях. Типы схем, применяемые в системах электроснабжения городов и промышленных предприятий. Режимы работы и технико-экономические характеристики, характеристики параметров режимов.

Режимы нейтрали электроустановок в сетях среднего и низшего напряжений. Влияние режима нейтрали на характеристики качества электрической схемы. Комплексная характеристика электрических схем систем электроснабжения. Классификация схем по типам, характеристика и область применения схем каждого типа. Влияние категории надежности электроснабжения электроприемников и допустимых систематических и послеаварийных перегрузок оборудования на выбор схемы. Анализ параметров режимов и технико-экономических характеристик различных схем. Конструктивное выполнение цеховых электрических сетей. Общее и различия в схемах городских и промышленных электрических сетей. Источники питания в системах электроснабжения. Глубокие вводы высших напряжений в городах и на промышленных предприятиях. Основные схемы глубоких вводов. Требования к конструктивному выполнению.

4.2.5. Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Методы и средства введения параметров качества электроэнергии в допустимые по ГОСТу пределы.

Нормирование по ГОСТу показателей качества электроэнергии. Отклонения напряжения, размах изменений напряжения, фликер, несинусоидальность и несимметрия напряжений в распределительных электрических сетях 10-0,4 кВ. Причины появления искажений напряжения, теоретические и практические методы их расчета. Методы и способы введения показателей качества электроэнергии в допустимые ГОСТом пределы.

## 5. Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	4.2.2	Статистические характеристики нагрузок потребителей и определение расчетных нагрузок линий в СЭС.
2	4.2.3 4.2.5	КРМ и регулирование напряжения в системе электроснабжения промышленного предприятия.
3	4.2.4	Исследование режимов работы электрических схем систем электроснабжения.
4	4.2.5	Интегральные критерии качества напряжения в распределительных электрических сетях до 1000 В.
4	4.2.5	Исследование параметров качества напряжения в системах электроснабжения.

## 6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.

### 6.1. Рекомендуемая литература.

#### а) основная

1. В.А.Козлов. Городские распределительные электрические сети. - Л.: Энергоиздат, 1982.
2. Б.Ю. Липкин. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. - М.: Высшая школа, 1990.
3. Ю.А.Фокин. Схемы городских электрических сетей - М.: МЭИ, 1989.

#### б) дополнительная литература:

1. Б.Н.Кудрин. Электроснабжение промышленных предприятий-М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. В.А.Козлов. Электроснабжение городов- Л.: Энергоиздат, 1988.
3. Электротехнический справочник: Изд.7. Т.3. Кн.1 -М.: Энергоатомиздат, 1988.

### 6.2. Средства обеспечения дисциплины.

Расчетные компьютерные программы REGIM, MATHCAD.

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины.

Специализированные расчетные столы переменного и постоянного тока.

Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки специалистов 650900 - ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА специальности 100400 - Электроснабжение.

Программу составили: А.А.Глазунов, профессор, МЭИ (ТУ), М.А.Калугина, доцент, МЭИ (ТУ)

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии по специальности 100400 – Электроснабжение.

Председатель Учебно-методической комиссии по специальности 100400 Электроснабжение \_\_\_\_\_ Глазунов А.А.

Программа одобрена на заседании Учебно-методического совета по направлению 650900 – ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА от " 15 " декабря 2000 г. \_\_\_\_\_ Протокол № 3

Председатель Учебно-методического совета по направлению 650900 – ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

\_\_\_\_\_ Жуков В.В.

Председатель Совета УМО по образованию в области энергетики

\_\_\_\_\_ Аметистов Е.В.



## 2. Рабочая программа дисциплины

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине "Системы электроснабжения"  
для специальности 140211 - электроснабжение

Курс 4	Очное обучение	Заочное обучение	Сокращенное обучение
Семестр	7	10	5
Лекции (час)	48	16	16
Практические занятия	16	8	6
Лабораторные работы			4
Самостоятельная работа	36	76	74
Экзамен	*	*	*
ВСЕГО часов	100	100	100

Рабочая программа составлена на основании *Государственного образовательного стандарта ВПО по направлению подготовки дипломированного специалиста 650900 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА и типовых программ по специальности 140211.*

Составители:

Савина Н.В., зав. каф., проф., доц.

Факультет Энергетический

Кафедра Энергетики

2006 г.

## 2.1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

### 2.1.1. Цель преподавания дисциплины.

Предметом изучения дисциплины «Системы электроснабжения» являются системы электроснабжения объектов народного хозяйства: промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства.

Целью изучения дисциплины является формирование у студентов систематических знаний по вопросам проектирования и эксплуатации комплексных систем электроснабжения городов и промышленных предприятий; формирование понимания современных методов и научных разработок, связанных с исследованием и развитием систем электроснабжения, выработка у студентов навыков их проектирования, развитие культуры экономически целесообразного выбора проектируемого варианта схемы электроснабжения и электрооборудования.

### 2.1.2. Задачи изучения дисциплины.

Задачами изучения дисциплины являются: ознакомление студентов с научными основами построения систем электроснабжения, методиками формирования величины расчетной нагрузки на различных уровнях системы электроснабжения, технико-экономическими моделями, используемыми при выборе типа и параметров электротехнического оборудования. Важное значение придается анализу и синтезу схем распределительных электрических сетей, вопросам компенсации реактивной мощности.

Основные задачи курса:

- дать представление о роли и значимости систем электроснабжения в промышленности и коммунально-бытовом секторе;
- выработать компетентностный подход к профессиональным проектированию и эксплуатации систем электроснабжения;
- сформировать у студента навыки проектирования систем электроснабжения;

– научить применять на практике принципы и методы разработки и реализации оптимальных технических решений в условиях эксплуатации;

– выработать навыки разработки, реализации, а также экономической оценки проектов по электроснабжению.

В результате изучения дисциплины студенты должны;

– знать закономерности формирования величины расчетной нагрузки на различных уровнях системы электроснабжения и практические методы ее расчета, типы схем, применяемых в системах электроснабжения и их конструктивное выполнение, типы оборудования, методы расчета параметров режимов, нормативные показатели качества электроэнергии;

– уметь составить схему замещения электрической сети, выбрать электротехническое оборудование и кабели необходимого типа и параметров;

– иметь навыки определения величин расчетных нагрузок, проектирования на вариантной основе схем электроснабжения промышленных предприятий и городов с расчетом параметров режима сети.

### 2.1.3. Перечень дисциплин с указанием разделов (тем), усвоение которых необходимо при изучении данной дисциплины.

В лекционном курсе в целостной форме обобщаются полученные ранее знания по теоретическим основам электротехники, физики и математике, электроэнергетике и др., и на их основе формируются задачи изучения данного курса – получение студентами знаний: проектирования и эксплуатации систем электроснабжения, изучение методов расчета электрических нагрузок.

Математика: алгебра, решение систем алгебраических уравнений, дифференциальные и интегральные исчисления, графы, теория функций комплексного переменного, вероятность и статистика.

Физика: электричество и магнетизм, явления сверхпроводимости, полупроводники, принципы неопределенности.

Теоретические основы электротехники: уравнения электромагнитного поля, законы электрических цепей; трехфазные цепи; теория

электромагнитного поля, поверхностный эффект и эффект близость; электромагнитное экранирование.

Электромеханика: типы электрических машин, трансформаторы, автотрансформаторы, их режимы работы, конструкции.

Электроэнергетика: основные сведения об электроэнергетических системах, системах электроснабжения, методах расчетов установившихся режимов.

Электропитающие системы и электрические сети: основы проектирования электрических сетей.

## **2.2. Содержание дисциплины**

### **2.2.1. Федеральный компонент**

СД.07 Системы электроснабжения: структуры и параметры систем энергоснабжения; расчётные электрические нагрузки потребителей, элементов и коммутационных узлов; нагрузочная способность и выбор параметров основного электрооборудования; типы схем распределительных электросетей до и выше 1000 В, режимы работы, технико-экономические характеристики и области применения; характеристики параметров режимов и их оптимизация (включая компенсацию реактивных нагрузок); нормальные требования к качеству напряжения, методы и средства кондиционирования напряжения.

### **2.2.2. Наименование тем, их содержание и объем в часах**

Тема 1. Структура и параметры систем электроснабжения - 8 часов

Предмет, структура, особенности и задачи курса. Основные термины и определения. Классификация электроприемников электроэнергии. Режимы работы электроприемников: длительный, кратковременный и повторно-кратковременный. Типы длительных режимов работы электроприемников: периодические, циклические, нециклические, нерегулярные. Продолжительность включения, цикличность работы электроприемника. Паспортная и номинальная мощности электроприемников.

Категорийность городских, сельских и промышленных потребителей: первая и особая группа, вторая и третья категории. Характеристика типовых электроприемников. Структура потребителей: промышленные и приравненные к ним, производственные сельскохозяйственные, бытовые, общественно-коммунальные. Социально-экономические и экологические аспекты систем электроснабжения.

Тема 2. Графики нагрузки элементов и узлов систем электроснабжения – 4 часа.

Понятие электрической нагрузки и графика электрической нагрузки. Индивидуальные и групповые графики нагрузок. Типовой график электрической нагрузки. Упорядоченная диаграмма и ее построение. Описание электрической нагрузки случайным процессом. Показатели графиков нагрузки: коэффициент использования, коэффициент включения, коэффициент загрузки, коэффициент формы, коэффициент заполнения, коэффициент энергоиспользования, коэффициент одновременности максимумов нагрузки. Понятие максимума нагрузки.

Тема 3. Расчетные электрические нагрузки промышленных предприятий – 6 часов.

Понятие расчетной нагрузки. Методика формирования величины расчетной нагрузки. Вероятностно-статистический метод как основа практических методик определения расчетной нагрузки элементов систем электроснабжения на различных ее уровнях. Общее и различия в практических методах определения расчетной нагрузки элементов систем электроснабжения городов и промышленных предприятий.

Описание процесса нагрева элемента при протекании электрического тока. Понятие расчетной электрической нагрузки. Эмпирические методы расчета электрических нагрузок: по удельному расходу и плотностям нагрузки; по коэффициенту спроса. Метод расчета электрических нагрузки промышленного предприятия по коэффициенту расчетной активной мощности. Эффективное число электроприемников. Средняя максимальная мощность за

наиболее загруженную смену. Коэффициент расчетной активной нагрузки, коэффициент расчетной реактивной нагрузки. Полная расчетная мощность силовой нагрузки. Расчетная нагрузка электрического освещения: метод коэффициента спроса. Расчет однофазных электрических нагрузок. Расчет нагрузок сварочных электроприемников.

Тема 4. Системы электроснабжения предприятий, принципы их формирования и задачи проектирования – 8 часов.

Особенности исполнения систем электроснабжения промышленных предприятий. Внешнее электроснабжение: источники питания и пункты приема электроэнергии; главные понизительные подстанции (ГПП) и ПГВ промышленных предприятий, распределительные подстанции (РП) 6-10-20 кВ, воздушные и кабельные линии 35 кВ и выше. Внутреннее электроснабжение: трансформаторные подстанции (ТП) 6-10-20/0,4 кВ, токопроводы на напряжение выше 1 кВ, кабельные сети на напряжение 6-10-20 кВ, и цеховые кабельные сети до 1 кВ, распределительные и магистральные шинопроводы. Особенности исполнения схем систем электроснабжения.

Тема 5. Определение центра электрических нагрузок. Выбор места расположения ГПП или ПГВ. Выбор трансформаторов подстанций системы внешнего электроснабжения – 6 часов.

Генеральный план предприятия. Картограмма нагрузок. Центр электрических нагрузок. Зона рассеяния электрических нагрузок: эллипс рассеяния. Тензорный метод расчета центра электрических нагрузок и зоны рассеяния. Вероятностно-статистический метод определения зоны рассеяния. Определения зон увеличения приведенных годовых затрат при смещении подстанции из зоны рассеяния. Исполнение трансформаторов: масляные, совтоловые и сухие трансформаторы. Маркировка. Основные параметры. Допустимые систематические и аварийные перегрузки трансформаторов. Коэффициент загрузки и систематической перегрузки трансформатора. Выбор трансформаторов ГПП (ПГВ): по аварийной перегрузке; по систематической. Технико-экономическое обоснование выбора трансформаторов ГПП (ПГВ).

Тема 6. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения. Нагрузочная способность и выбор параметров СЭС – 8 часов.

Проблема компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения. Экономические и технические характеристики различных видов компенсирующих устройств. Типы компенсации реактивной мощности. Экономические и технические критерии выбора параметров основного электрооборудования электрических сетей среднего и низшего напряжений. Учет категории надежности электроснабжения электроприемников и величин допускаемых систематических и послеаварийных перегрузок при выборе количества и мощности трансформаторов городских и цеховых подстанций. Влияние мощности устанавливаемых компенсирующих устройств на выбор мощности цеховых трансформаторных подстанций и параметров электрооборудования.

Электроприемники - потребители реактивной мощности. Потребление реактивной мощности асинхронными двигателями. Источники реактивной мощности: синхронные двигатели 6-10 кВ, силовые конденсаторы. Основные положения по размещению компенсирующих устройств в системах электроснабжения. Регулирование мощности компенсирующих устройств, базовая и регулируемая ступени конденсаторных батарей. Компенсация реактивных параметров передачи.

Число трансформаторов при практически полной компенсации в сети с напряжением до 1 кВ и при отсутствии компенсации в сети до 1 кВ. Определение мощности конденсаторов до и выше 1 кВ. Выбор числа цеховых трансформаторов по приведенным затратам в трансформаторы и установки компенсации и по потерям активной мощности.

Баланс реактивных мощностей. Определение экономически целесообразной реактивной мощности, генерируемой синхронными двигателями.

Тема 7. Режим нейтрали в распределительных сетях. Типы схем, применяемые в системах электроснабжения городов и промышленных предприятий. Режимы работы и технико-экономические характеристики, характеристики параметров режимов – 8 часов

Режимы нейтрали электроустановок в сетях среднего и низшего напряжений. Влияние режима нейтрали на характеристики качества электрической схемы.

Комплексная характеристика электрических схем систем электроснабжения. Классификация схем по типам, характеристика и область применения схем каждого типа.

Влияние категории надежности электроснабжения электроприемников и допустимых систематических и послеаварийных перегрузок оборудования на выбор схемы. Анализ параметров режимов и технико-экономических характеристик различных схем.

Конструктивное выполнение цеховых электрических сетей. Общее и различия в схемах городских и промышленных электрических сетей. Источники питания в системах электроснабжения.

Глубокие вводы высших напряжений в городах и на промышленных предприятиях. Основные схемы глубоких вводов. Требования к конструктивному выполнению.

### 2.2.3. Практические занятия, их наименования и объем в часах

Всего 16 часов

Цель практических занятий – научить студентов основам проектирования систем электроснабжения.

В практических занятиях примеры подбираются в соответствии со спецификой специальности, при этом используются реальные схемы объектов и систем.

По практическим занятиям используются специализированные задачи отдельно для каждой специальности на индивидуальных карточках.



### Тематика практических занятий

№ п.п.	Наименование темы	Кол-во часов
1	Анализ графиков электрических нагрузок. Построение упорядоченных диаграмм.	2
2	Расчет трехфазных электрических нагрузок.	2
3	Расчет однофазных электрических нагрузок. Расчет нагрузок контактной электросварки.	2
4	Определение параметров схем внешнего электроснабжения.	2
5	Определение параметров схем внутреннего электроснабжения.	2
6	Выбор низковольтных компенсирующих устройств.	2
7	Определение экономически целесообразной реактивной мощности, генерируемой синхронными двигателями.	2
8	Выбор высоковольтных компенсирующих устройств. Баланс реактивной мощности.	2

#### 2.2.4. Самостоятельная работа студентов.

При изучении дисциплины реализуются следующие формы организации самостоятельной работы студентов:

- аудиторная СРС под руководством и контролем преподавателя с применением методов активного обучения: на лекциях, практических занятиях, контрольные работы и рефераты;
- внеаудиторная СРС под руководством и контролем преподавателя: консультации по разделам дисциплины: защита индивидуальных домашних заданий; деловые игры, оценка качества освоения разделов дисциплины, вынесенных на внеаудиторную СРС без преподавателя;
- подготовка к аудиторным занятиям;
- проработка устного материала, выполнение индивидуальных заданий, написание рефератов, подготовка к деловой игре;

Объем и формы контроля самостоятельной работы отличаются для студентов очной и заочной (в том числе сокращенной) форм обучения и приведены в учебно-методической карте дисциплины.

Студент допускается к экзамену при условии выполнения всех видов самостоятельной работы, предусмотренных на практических занятиях.

#### 2.2.5. Формы контроля знаний студентов.

Входит контроль – опрос, тестирование, промежуточный контроль

Перечень и темы промежуточных форм контроля знаний.

К промежуточным формам контроля знаний относятся:

- блиц-опрос на лекциях по пройденному материалу;
- контрольные работы;
- выполнение индивидуальных домашних заданий с последующей их защитой;
- коллоквиумы;
- опрос студентов на практических занятиях;
- тестирование.

Итоговый контроль – экзамен.

#### 2.2.6. Вопросы к экзаменам и зачетам.

1. Структура и параметры систем электроснабжения.
2. Потребитель и приемник электроэнергии. Примеры.
3. Характеристика систем электроснабжения промышленных предприятий.
4. Характеристика систем электроснабжения городов.
5. Классификация потребителей систем электроснабжения по надежности. Примеры.
6. Классификация приемников электроэнергии по режимам работы. Примеры.
7. Классификация приемников электроэнергии по напряжению и мощности. Примеры.
8. Классификация приемников электроэнергии по роду тока и частоте.

9. Силовые общепромышленные установки и производственные механизмы.
10. Электрические печи и электротермические установки.
11. Электросварочные установки.
12. Осветительные установки.
13. Выпрямительные установки.
14. Классификация и область применения методов расчета электрических нагрузок.
15. Эмпирические методы расчета электрических нагрузок.
16. Метод упорядоченных диаграмм.
17. Статистические методы расчета нагрузок.
18. Методы вероятностного моделирования электрических нагрузок.
19. Метод коэффициента расчетной нагрузки.
20. Типы графиков электрических нагрузок.
21. Показатели графиков электрических нагрузок.
22. Характеристики графиков электрических нагрузок.
23. Метод расчета однофазной нагрузки.
24. Метод расчета сварочной нагрузки.
25. Пиковая мощность и ее определения.
26. Схемы питания электроэнергией.
27. Принципы построения схем электроснабжения.
28. Пункты приема электроэнергии.
29. Послеаварийный режим.
30. Схемы внешнего электроснабжения.
31. Глубокие воды.
32. Радиальные схемы внутреннего электроснабжения.
33. Магистральные схемы внутреннего электроснабжения.
34. Смешанные схемы внутреннего электроснабжения.
35. Картограмма нагрузок.
36. Условный центр электрических нагрузок и определение его координат.
37. Определение зоны рассеяния центров электрических нагрузок.

38. Определение места расположения трансформаторной, преобразовательной подстанций; РП.
39. Способы подключения предприятий к энергосистеме.
40. Схемы электроснабжения при наличии электроприемников особой группы I категории.
41. Характерные схемы электроснабжения предприятий при питании их от ЭЭС.
42. Питание предприятий от ЭЭС при наличии собственных ТЭЦ.
43. Двухступенчатые схемы электроснабжения.
44. Выбор номинального напряжения схемы внешнего электроснабжения.
45. Выбор напряжения распределительной сети.
46. Выбор рационального напряжения с помощью метода планирования эксперимента.
47. Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП (ПГВ).
48. Выбор и проверка высоковольтных кабелей.
49. Прокладка высоковольтных кабелей и область их применения.
50. Выбор низковольтных компенсирующих устройств.
51. Определение экономически целесообразной реактивной мощности, генерируемой синхронными двигателями.
52. Влияние категории надежности электроснабжения электроприемников и допустимых систематических перегрузок оборудования на выбор схемы.
53. Балансовые расчеты реактивной мощности. Выбор ВКУ.
54. Естественная компенсация реактивной мощности.
55. Режимы нейтрали в распределительных сетях.
56. Влияние категории надежности электроснабжения электроприемников и допустимых систематических перегрузок оборудования на выбор схемы.
57. Расчет емкостного тока замыкания на землю. Допустимые токи замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью.
58. Компенсация емкостного тока замыкания на землю.

## 2.3. Учебно-методические материалы по дисциплине.

### 2.3.1. Литература

#### *Основная литература*

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: изд-во: «Мастерство» 2002
2. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: учеб. пособие – М.: форум: Инфра. – М. 2006.- 480 с.

#### *Дополнительная литература*

1. Правила устройства электроустановок. 7 редакция.
2. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. РД 34.20.185-94. 1995.
3. Указания по определению электрических нагрузок в промышленных установках. 1991.
4. Руководящие материалы по проектированию с/х. 1999.
5. Методика расчета нормативных (технологических) потерь электроэнергии в электрических сетях. Минпромэнерго. 2005.
6. Электротехнический справочник. Том 3 / под ред. А.И. Попова М.: Изд-во МЭИ. 2002
7. Кудрин Б.И, Электроснабжение промышленных предприятий учебник для вузов. М. Энергоатомиздат. 1995
8. Справочник по проектированию электроснабжения. Электроустановки промышленных предприятия / Под ред. Ю.Г. Барыбина. 1991.
9. А.А. Федоров, Л.Е. Старкова. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятия.
10. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. Круповича. М.: Энергия, 1981.
11. Козлов В.А. Электроснабжение городов. 1988.
12. Справочник: Комплектные электротехнические устройства. М.: Энергоатомиздат, 1991.
13. В.А.Козлов. Городские распределительные электрические сети. - Л.: Энергоиздат,1982.
14. Б.Ю. Липкин. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. - М.: Высшая школа, 1990.
15. Ю.А.Фокин. Схемы городских электрических сетей - М.: МЭИ, 1989.
16. Б.Н.Кудрин. Электроснабжение промышленных предприятий-М.: Энергоатомиздат, 1985.
17. В.А.Козлов. Электроснабжение городов- Л.: Энергоиздат,1988.

### 2.3.2. Периодические издания (профессиональные журналы)

1. Энергетик
2. Промышленная энергетика.
3. Электрика
4. Вестник МЭИ
5. Известия вузов «Энергетика»
6. Новости электротехники
7. Электричество
8. Электрические станции
9. Известия РАН
10. Энергетика

### 2.3.3. Информационное обеспечение дисциплины

1. Центральное Диспетчерское управление (ЦДУ) ЕЭС России  
<http://www.cdu.elektra.ru/>
2. Служба РЗ и А ЦДУ ЕЭС России <http://www.cdu.elektra.ru/rza/>
3. Объединённое Диспетчерское Управление энергосистемами Востока (ОДУ Востока) <http://www.oduv.ru/>
4. ОАО "АМУРЭНЕРГО" <http://www.ae.amur.ru/>
5. ОАО "ДАЛЬЭНЕРГО" <http://www.dalenergo.org/>
6. ОАО "ЗЕЙСКАЯ ГЭС" <http://www.rao-ees.ru/zges/>
7. ФОРЭМ <http://www.cdrforem.ru/>

### 2.3.4. Перечень наглядных и других пособий.

1. Слайды к медиапроектору.
2. Типовые схемы РУ подстанций и станций, схемы электроснабжения предприятий и городов.

### 2.3.5. Программы для ПЭВМ

1. Учебные программные комплексы, разработанные кафедрой энергетики: "CURSE", "ZAPUSK", "CURS PM", "KRNET", "Расчет эл.сети".
3. Пакет автоматизации математических расчетов MathCAD
4. Графический редактор «VISIO».

### 2.3.6. Методические пособия

1. Ю.В. Мясоедов, Н.В.Савина, А.Н.Козлов Автоматизация в курсовом и дипломном проектировании. Благовещенск, 2000.
2. Мохов В.Б., Бирило И.А. Методические указания к курсовому проектированию. «Районная электрическая сеть» – Благовещенск, 1993г.

## 2.4. Учебно-методическая карта дисциплины

Таблица 1.

Номер лекции	Номер темы	Вопросы, изучаемые на лекции	Занятия практич.	Используемые нагляд. и метод. пособия	Самостоятельная работа студентов		Формы контроля
					содерж.	часы	
1-4	1	1		Слайды к медиапроектору по теме лекции	Изучение материалов по теме лекции	6	Блиц-опрос на лекции
5.6	2	2	1	Слайды к медиапроектору по теме лекции	Изучение материалов по теме лекции, по теме практики	4	Блиц-опрос на лекции Защита инд. дом. заданий
7-9	3	3	2,3	Слайды к медиапроектору по теме лекции	Изучение материалов по теме лекции, по теме практики	4	Блиц-опрос на лекции Защита инд. дом. заданий
10-13	4	4	4	Слайды к медиапроектору по теме лекции	Изучение материалов по теме лекции, по теме практики	6	Блиц-опрос на лекции Защита инд. дом. заданий
14-16	5	5	5	Слайды к медиапроектору по теме лекции	Изучение материалов по теме лекции, по теме практики	6	Блиц-опрос на лекции Защита инд. дом. заданий
17-20	6	6	6-8	Слайды к медиапроектору по теме лекции	Изучение материалов по теме лекции, по теме практики	6	Блиц-опрос на лекции Защита инд. дом. заданий
21-24	7	7		Слайды к медиапроектору по теме лекции	Изучение материалов по теме лекции	4	Блиц-опрос на лекции

### **3. Краткий конспект лекций**

#### **3.1. Методические указания по проведению лекций**

Лекционный курс по дисциплине «Системы электроснабжения» - направлен на формирование у студентов систематических знаний по вопросам проектирования и эксплуатации комплексных систем электроснабжения городов и промышленных предприятий.

Задачами курса «Системы электроснабжения» являются: ознакомление студентов с научными основами построения систем электроснабжения, методиками формирования величины расчетной нагрузки на различных уровнях системы электроснабжения, технико-экономическими моделями, используемыми при выборе типа и параметров электротехнического оборудования. Важное значение придается анализу и синтезу схем распределительных электрических сетей, вопросам компенсации реактивной мощности. Кроме того, в круг задач изучения дисциплины входит изучение показателей качества электрической энергии и методов и средств введения их в допустимые пределы.

Целью данного раздела является оказание методической помощи в оптимальном распределении теоретического материала между лекциями, а также между аудиторными занятиями и самостоятельной работой по изучению дисциплины. Кроме того, будет осуществлена систематизация излагаемого материала.

Лекцию нужно строить таким образом, чтобы осуществлять сквозную подготовку студентов, активизировать работу аудитории, поддерживать интерес к излагаемому материалу, развивать инженерное мышление у студентов. Методически лекция должна быть направлена на усвоение студентами излагаемого материала и меть эмоциональную окраску. Материал целесообразно излагать в доступной форме, приводя примеры из реальной жизни как в части эксплуатации, так и проектирования или развития систем,



выделяя при этом наиболее насущные проблемы по рассматриваемой тематике общероссийской и региона.

Поставив задачи, которые будут решаться на лекции, преподаватель должен методически подвести аудиторию к их решению, играя при этом роль лидера. Тем самым у студентов развиваются способности логически мыслить и генерировать идеи. Для максимального усвоения материала целесообразно задействовать зрительную, слуховую и моторную память студентов. Для каждой лекции должна быть подготовлена презентация, включающая название лекции, цель и задачи, решаемые на лекции, план лекции, основные теоретические материалы, содержащие математические выкладки, рисунки, схемы, выводы. Презентацию не нужно загромождать текстом, справочным материалом.

В ходе лекции необходимо, опираясь на физическую сущность рассматриваемой задачи или процесса, показать основные теоретические выкладки и довести теоретический материал до инженерных решений и их технической реализации, показать область их применения.

Целесообразно, в процессе лекции использовать передовые образовательные технологии, например, методы активизации обучения, информационные технологии. Технические средства, используемые на лекции: медиапроектор, экран, ноутбук, проектоскоп.

Предлагается следующая структура построения лекции:

- тема;
- цель и задачи;
- план;
- фронтальный блиц-опрос (3-5 минут);
- вступление;
- изложение основного материала;
- закрепление;
- разделы, выносимые на самостоятельную проработку;
- выводы.

Блиц-опрос должен периодически чередоваться с самостоятельной работой (10-15 минут), проводимой в конце лекции.

При выдаче задания на самостоятельную проработку необходимо назвать учебники предложить найти дополнительные источники, в т.ч. и электронные, помимо указанных в рабочей программе.

Выводы должны быть краткими, но емкими и содержать основную мысль, которую лектор хотел донести до аудитории.

### **3.2. Краткий конспект лекций**

#### Лекция 1.

Краткая характеристика промышленных потребителей электроэнергии.

Современные промышленные предприятия характеризуются большими значениями суммарных установленных мощностей ЭП, особенно в черной и цветной металлургии, химии, микробиологии, ЦБК, горнообогатительной промышленности. Мощность установленных на ГОКах, заводах микробиологии трансформаторов составляет 200-300 МВА, предприятиях черной металлургии 300-500 МВА, а на некоторых даже 700-1000 МВА.

Установленная мощность ЭД на нефтеперерабатывающем заводе составляет 230 МВт, на заводе кормовых дрожжей более 300 МВт. Потребляемая ЭСПЦ – 200 МВА, коксохимзавода около 50-60 МВА.

Резко увеличивается единичная мощность отдельных агрегатов и ЭП. Мощность современной электролизной установки достигает 150-185 МВА, дуговой электропечи 100-125 МВА, ЭД прокатных станов 20 МВт, СД нефтеперекачивающих и газокompрессорных станций трубопроводного транспорта 8-12,5 МВт. Отсюда около 70% вырабатываемой электроэнергии потребляется промышленными предприятиями.

Потребителями э/э называются ЭП или группы электроприемников, объединенных единым технологическим процессом и размещающихся на определенной территории.

Приемником э/э называют аппарат, механизм, агрегат предназначенный для преобразования э/э в другой вид энергии.

Электроприемники промышленных предприятий делятся на следующие группы:

1. ЭП трехфазного тока, напряжением  $<1$  кВ и с частотой 50 Гц.
2. ЭП трехфазного тока, напряжением  $>1$  кВ и с частотой 50 Гц.
3. ЭП однофазного тока, напряжением  $<1$  кВ и с частотой 50 Гц.
4. ЭП, работающие с частотой не равной 50 Гц, питаемые от преобразовательных п/ст и установок
5. ЭП постоянного тока, питаемые от преобразовательных п/ст и установок.

Систематизацию потребителей э/э осуществляют по следующим эксплуатационно-техническим признакам: производственному назначению, производственным связям, режимам работы, мощности и напряжению, роду тока, территориальному размещению, требованиям к надежности электроснабжения, стабильности распределения ЭП.

По степени надежности потребителей э/э разбивают на три категории:

1) к 1 категории по степени надежности электроснабжения относятся потребители перерыв в электроснабжении которых представляет опасность для жизни человека, значительный н/х ущерб, брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Особая группа – выделена с целью безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования. (для черной металлургии – насосы водоохлаждения доменных печей, ЭД механизмов поворотов конвертеров.

2) ко 2 категории – массовый недоотпуск продукции, массовый простой рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушение нормальной деятельности значительного количества городских и сельскохозяйственных жителей.

3) к 3 категории – все остальные.

Отметить резервирование: второй и третий источник питания, аккумуляторные батареи, местные станции.

По режиму работы ЭП могут быть разделены на группы по сходству режимов, т.е. по сходству ГЭН. Деление потребителей на группы позволяет более точно определить электрическую нагрузку.

Различают 3 характерные группы ЭП:

1. ЭП в режиме продолжительной неизменной или меняющейся нагрузки. В этом режиме ЭП могут работать длительное время без превышения температуры отдельных частей электрической машины выше допустимой.

2. Кратковременная нагрузка. Рабочий период не настолько длительный, чтобы температура отдельных частей машины или аппарата могла достигнуть установившегося значения, а период их остановки таков, что они успевают охладиться до температуры окружающей среды.

3. ЭП, работающие в режиме повторно-кратковременного включения. в этом случае кратковременный рабочий период машины или аппарата чередуется с кратковременными периодами отключения. При этом нагрев не превосходит допустимого, а охлаждение не достигает температуры ОС.

Анализ режимов работы потребителей показал, что большинство ЭД, обслуживающих технологические линии и агрегаты непрерывных производств, работают в продолжительном режиме. Примеры – ЭД компрессоров, насосов, вентиляторов, механизмов непрерывного транспорта.

Кратковременный режим – ЭД электроприводов вспомогательных механизмов металлорежущих станков (механизмы подъема поперечины, зажима колонки), гидравлических затворов, задвижек, заслонок.

Повторно-кратковременный режим (ПКР) – ЭД мостовых кранов, тельферов, подъемников, сварочных аппаратов. ПКР характеризуется продолжительностью включения (ПВ в %).

$$ПВ = \frac{t_{вкл}}{t_{вкл} + t_{хх}} = \frac{t_{вкл}}{t_{ц}}, \text{ где } t_{ц} \leq 10 \text{ мин}$$

Установлены стандартные значения ПВ для механизмов, работающих в ПКР: 15%, 25%, 40%, 60%. У сварки в более широких пределах.

ПКР приводится к продолжительному режиму через ПВ

$$P_{\text{прод}} = P\sqrt{\text{ПВ}}.$$

ГЭН (*Показать графики – по продолжительности, упорядоченные*) каждого ЭП отличаются от заданного и являются основным показателем ЭП, по которому его следует классифицировать.

*Разделение по симметричности и несимметричности нагрузки.*

Симметричные: ЭД и трехфазные печи

Несимметричные: эл.освещение, одно- и двух фазные печи, однофазные сварочные трансформаторы.

*По мощности и напряжению*

предприятия большой мощности (установленная мощность  $\geq 75-100$  МВт); средней 5-75 МВт; малой  $< 5$  МВт.

Главный показатель отдельных ЭП – номинальная мощность – для ЭД, для плавильных электропечей и сварочных установок – мощность питающих их трансформаторов задается в кВА.

Для ЭП с ПКР номинальная мощность – это мощность приведенная к продолжительному режиму.

Согласно ПУЭ ЭП делятся на установки  $< 1$  кВ и  $> 1$  кВ (для ЭП постоянного тока до 1,5 кВ).

Электроустановки  $U < 1$  кВ переменного тока выполняются как с глухозаземленной, так и с изолированной нейтралью, а установки постоянного тока – с глухозаземленной и изолированной нулевой точкой.

Электроустановки  $U > 1$  кВ подразделяются на:

1. Установки с изолированной нейтралью (1-35 кВ)
2. компенсированной
3. глухозаземленной ( $\geq 110$  кВ)

Кроме того все установки подразделяются на установки с  $I_3 < 500$  А и  $I_3 > 500$  А.

Для сетей напряжением выше 1 кВ изолированная нейтраль применяется для повышения надежности питания промышленного электроснабжения (торфяные разработки, угольные шахты) при условии, что в этом случае обеспечивается контроль изоляции сети и целостность пробивных предохранителей, быстрее обнаруживается и ликвидируется замыкание на землю или автоматически отключаются участки с замыканием на землю.

В четырехпроводных сетях переменного тока или в трехпроводных постоянного тока для установок без повышенной опасности глухое заземление обязательно.

*По частоте ЭП делятся:*

на ЭП промышленной частоты,

ЭП с высокой частотой ( $>10$  кГц),

повышенной (до 10 кГц)

и пониженной  $<50$  Гц.

Установки высокой и повышенной частоты применяются для нагрева под закалку, ковку и штамповку металлов, а также для их плавки. Для питания высокоскоростных ЭД в текстильной промышленности, деревообработке и других случаях используются токи повышенной частоты (133-400 Гц), установки получения искусственного шелка  $f=133$  Гц.

Для преобразования переменного тока промышленной частоты в ток высокой и повышенной частоты служат двигатели-генераторы, тиристорные преобразователи (до 10 кГц – тиристорные преобразователи, свыше 10 кГц – электронные генераторы).

К ЭП с пониженной частотой относятся коллекторные ЭД, применяемые в транспортных целях (16,6 Гц), установки для перемешивания жидкого металла в печах (до 25 Гц) и индукционные нагревательные печи.

Трехфазными ЭП называются приемники питаемые переменным трехфазным током (основные ЭП). Поскольку преобразовательные агрегаты питаются от 3фазного тока, они также являются ЭП 3фазного тока.

ЭП постоянного тока (электропривод по системе Г-Д, вентильный электропривод) с точки зрения электроснабжения – ЭП трехфазного тока.

К ЭП постоянного тока питающимся от преобразовательных подстанций относятся внутризаводской электрифицированный транспорт, ЭД подъемно-транспортных механизмов, цеха электролиза и гальванопокрытий, электролитическое получение металлов, электросварка.

## Лекция 2.

### Характерные приемники энергии

ЭД силовых общепромышленных установок (ОПУ): ЭД компрессоров, вентиляторов, насосов, подъемно-транспортных устройств. Они работают в продолжительном режиме и в зависимости от номинальной мощности работают в диапазоне 0,22-10 кВ. Номинальная мощность изменяется от долей единицы до 1000 кВт. Характер нагрузки ровный, особенно для мощных установок (толчки имеются только при пуске). Относятся к 1 категории, перерыв в электроснабжении чаще всего недопустим (например: отключение вентиляции в цехах химических производств, прекращение подачи сжатого воздуха по магистрали на машиностроительном заводе, где режущий инструмент крепится с помощью пневматических устройств и может вызвать ранение персонала, отключение насосной станции металлургического завода приведет к выходу из строя доменной печи).  $\cos\varphi = 0,8-0,85$ . Для электропривода крупных насосов, компрессоров, вентиляторов применяются СД, работающие с опережающим  $\cos\varphi$ .

Подъемно-транспортные установки (ПТУ) работают в режиме ПКР. Характерны частые толчки нагрузки, которые приводят к изменению  $\cos\varphi$  (0,3-0,8). Относятся к 1 и 2 категории, работают на переменном и постоянном токе, симметричная нагрузка.

ЭД всех видов широко используются для станков и промышленных механизмов, 220/380-660 В.  $f=50$  Гц. 2 категория.

Электроосветительные установки. Электросветильники – однофазная нагрузка (<2 кВт), можно достичь несимметрии  $\leq 5-10\%$ . Нагрузка равномерна, без толчков, зависит от времени суток, года, географического положения.  $f=50$  Гц.  $\cos\varphi$  ламп накаливания равен 1, люминесцентные, дуговые, ртутные, натриевые, газоразрядные лампы  $\cos\varphi=0,6$ .  $U=6-220$  В. Кратковременные аварийные перерывы в питании осветительных установок допустимы.

Преобразовательные установки 3фазного тока в постоянный или 3фазного (однофазного) в ток пониженной, повышенной или высокой частоты.

Полупроводниковые, установки с ртутными выпрямителями, Д-Г. служат для питания ЭД ряда машин и механизмов, электролизных ванн, электрофильтров, сварочных установок постоянного тока, внутризаводского электрифицированного транспорта.

### Лекция 3.

#### Структура потребителей электроэнергии.

Потребители электроэнергии структурно делятся на промышленные и приравненные к ним, производственные сельскохозяйственные, бытовые, общественно-коммунальные.

Промышленные потребители рассмотрены в первой и второй лекции.

Бытовые и общественно-коммунальные потребители объединены в потребители коммутационно-бытового сектора. К ним относятся:

- городской электрифицированный транспорт;
- водопровод и канализация;
- спорткомплексы;
- больничные комплексы;
- гостиницы;
- магазины;
- аптеки;
- школы;
- детские сады;



- котельные;
- кинотеатры;
- бытовая нагрузка.

В общем, все потребители электроэнергии города делятся на группы:

потребители селитебных зон (жилые дома, общественные здания и сооружения);

коммунальные, общегородского значения (водопровод, канализация, электрический транспорт);

промышленные.

Далее приводится краткая характеристика выделенных групп.

Сельскохозяйственные потребители делятся на осветительно-бытовую нагрузку, производственную нагрузку, общественно-коммунальную и прочую нагрузку. Состав производственных потребителей зависит от основного направления развития сельского хозяйства в данном районе. Выделяют зерновое хозяйство, мясо-молочное животноводство, льноводство и т.д. Приводится краткая характеристика потребителей электроэнергии выделенных направлений. Выделяются крупные сельскохозяйственные промышленные потребители: животноводческие комплексы, птицефабрики, инкубаторы, парниково-тепличные комбинаты, птицеводческие комплексы.

#### Лекция 4.

##### Структура систем электроснабжения.

##### Основные требования к системам электроснабжения.

Система электроснабжения многоступенчата и иерархична. Ее можно считать многоуровневой. Выделяют следующие уровни: отдельный электроприемник (первый уровень), распределительный щит напряжением до 1 кВ переменного тока и до 1,5 кВ постоянного тока (второй уровень), шины низкого напряжения трансформаторной подстанции 6-10/0,4 кВ (третий уровень), шины распределительной подстанции (четвертый уровень), шины ГПП или ПГВ (пятый уровень), границы раздела балансовой

принадлежности предприятия и электроснабжающей организации (ЭСО) (шестой уровень).

Системы электроснабжения делят на системы внешнего и внутреннего электроснабжения. В свою очередь системы внутреннего электроснабжения делятся на высоковольтные и низковольтные. Система внешнего электроснабжения включает в себя источники питания, пункт приема электроэнергии и питающие линии(линии связи). Система внутреннего электроснабжения включает шины НН пунктов приема электроэнергии (6-10 кВ как правило), РП, КТП, кабельные линии и (или) токопроводы, (высоковольтная), шины НН КТП, шинопроводы, распределительные щиты и шкафы, кабели и провода, электропривод электроприемника (низковольтная).

Системы электроснабжения делятся на ступенчатые (нет РП) и двухступенчатые (есть РП).

Основные требования к системам электроснабжения: надежность электроснабжения, безопасность, экологичность, экономичность, учет технологических особенностей.

## Лекция 5.

### Графики электрических нагрузок и их характеристика.

Основополагающим в электроснабжении является определение электрической нагрузки (ЭН). Под ЭН подразумеваются токи, активная, реактивная и полная мощности. От того, насколько правильно определены электрические нагрузки зависит надежность и эффективность СЭС.

В условиях эксплуатации электрические нагрузки исследуют по графикам электрических нагрузок (ГЭН), которые представляют собой графическое изображение изменения ЭН во времени. ГЭН могут быть построены с применением различных измерительных приборов: регистрирующих, суммирующих (интегрирующих), самопишущих и др. (см. рис.).

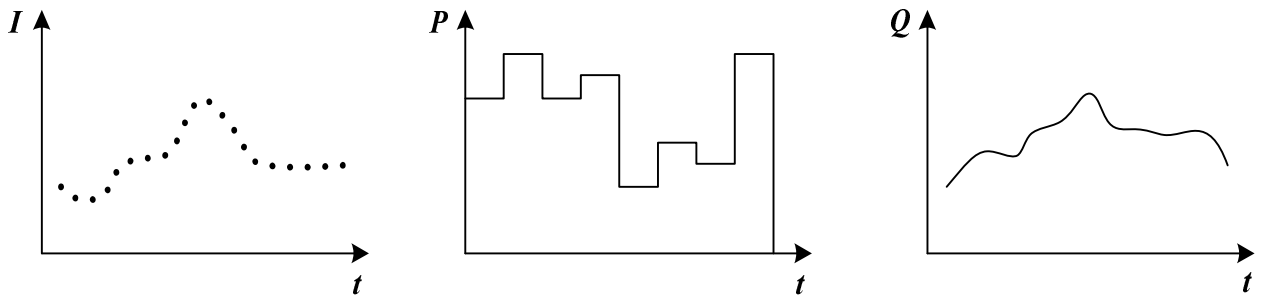
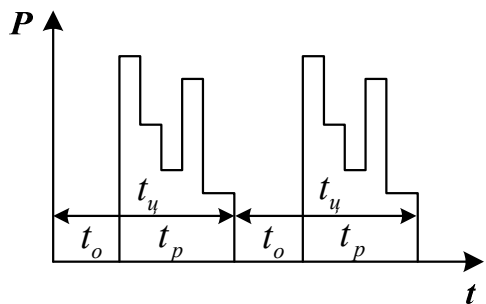


Рис. Графики электрических нагрузок.

Чаще используются последние два, которые соответственно называются ступенчатыми и непрерывными. По числу ЭН, подключенных к узлу, различают индивидуальные (подключен один ЭП) и групповые (подключено несколько ЭП) ГЭН.

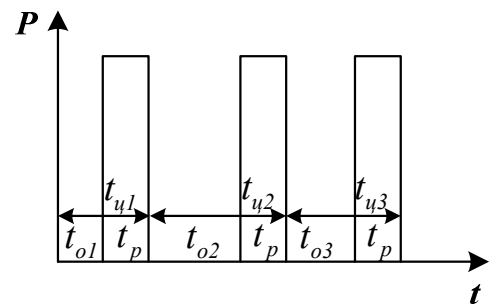
Рассмотрим основные типы индивидуальных ГЭН, необходимые для выяснения физической картины формирования групповых графиков.

Они делятся на периодические, циклические, нециклические, нерегулярные.



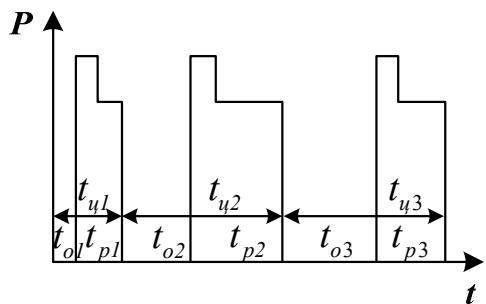
$$t_p = const; t_o = const; t_u = const$$

1)



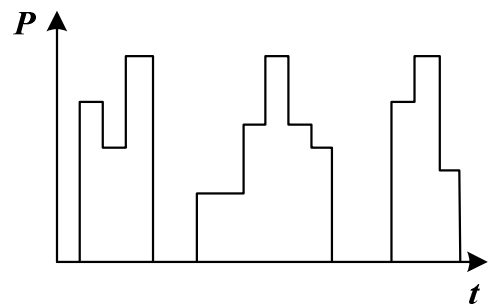
$$t_p = const; t_o = var$$

2)



$$t_p = var; t_o = var$$

3)



4)

Рис. Типы ГЭН

*Периодические* ГЭН (рис. 1) отвечают строго ритмичному, с периодом  $t_y$  процессу производства, как правило, поточному или автоматизированному по жесткой программе.

*Циклические* ГЭН (рис. 2) отвечают непоточному, неавтоматизированному, но циклическому производству, причем продолжительность  $t_p$  одна и та же, характер соответствующих участков ГЭН циклический. Но периодичность нарушена из-за разных  $t_o$  отдельных циклов. В этом случае можно говорить только о средней длительности одного цикла  $t_y$ .

*Нециклические* ГЭН (рис. 3). Выполняемые агрегатом операции повторяющиеся, строго не регламентированы, вследствие чего характер графика существенно меняется на рабочих участках, причем их длительность нестабильна.

*Нерегулярные* ГЭН (рис. 4) – редкий случай столь нерегулярного режима работы ЭП, что условия стабильности ЭП уже не соблюдаются. Это означает, что технологический процесс в силу своей природы имеет неустановившийся характер.

Всегда стремятся привести ГЭН к периодическому типу.

На практике чаще всего приходится иметь дело с групповыми графиками ЭН. Групповые графики получаются в результате суммирования индивидуальных ГЭН.

#### Графики групповой нагрузки

Для групповых графиков степень регулярности определяется не только типами слагающих индивидуальных графиков, но и взаимодействиями нагрузок отдельных ЭП по условиям технологического процесса.

Различают периодический, почти периодический и нерегулярный графики.

*Нерегулярный* – неустановившийся процесс, который характеризуется пониженной производительностью, нерегулярным режимом работы отдельных ЭП.

*Периодический ГЭН* – периодически работающие ЭП жестко связаны между собой общим потоком технологического процесса – автоматизированной линией.

*Почти периодический* - непоточное производство, характеризуется при установившемся режиме работы обобщенной периодичностью, означающей стабильность расхода электроэнергии. Для них начальный момент времени цикла не является произвольным как для периодических графиков и должен отвечать началу одного из циклов, например, смены.

Построение упорядоченных диаграмм индивидуальных и групповых графиков нагрузки

Упорядоченной диаграммой (УД) называется график изменения параметра, характеризующего электрическую нагрузку, в порядке убывания ее значений во времени или расположение ординат графика в порядке убывания.

Упорядоченную диаграмму можно построить по графикам электрической нагрузки или с помощью схемы независимых испытаний.

Построение упорядоченной диаграммы по графику нагрузки показано на рис. 1 для индивидуального графика и на рис. 2 - для группового.

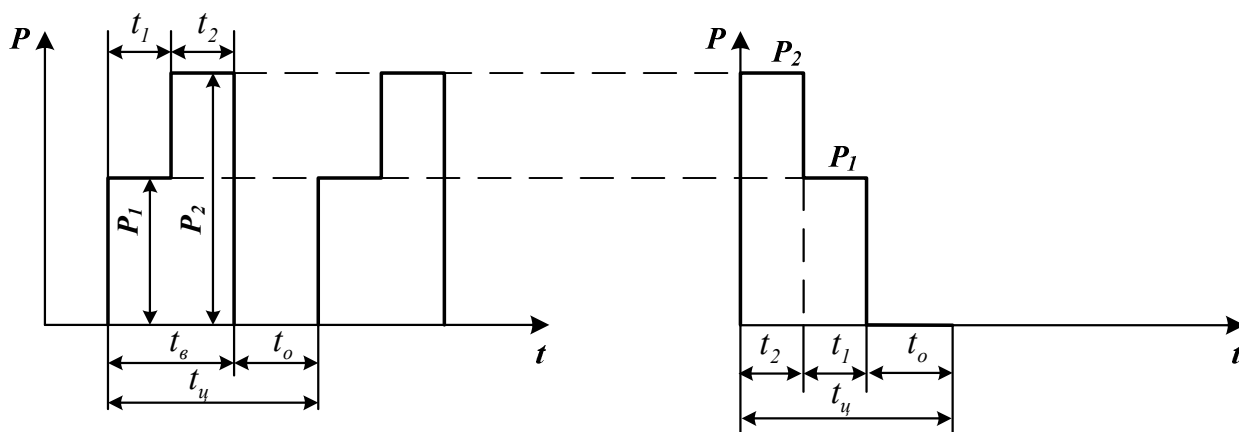


Рис. 1. Графическое построение упорядоченной диаграммы индивидуального ГЭН за время цикла

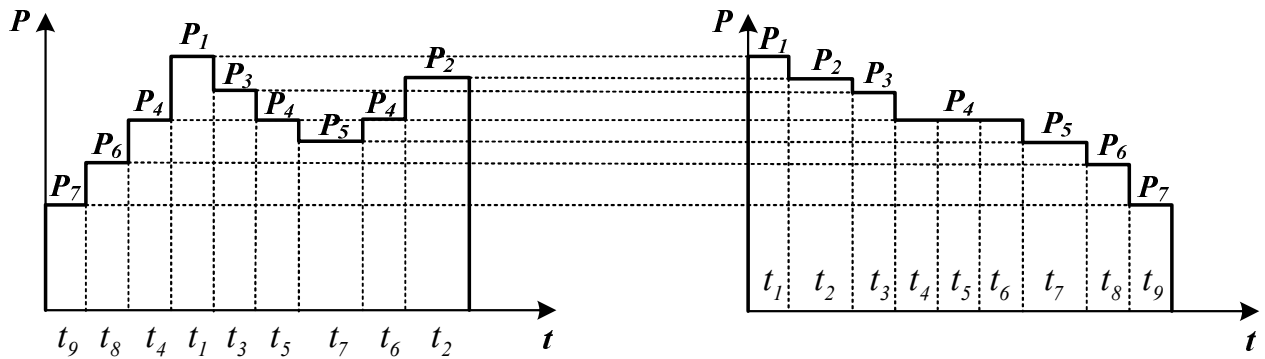


Рис. 2. Построение УД группового графика нагрузки

### Построение упорядоченной диаграммы с помощью схемы независимых испытаний

Исходными данными для построения УД являются число и мощность электроприемников каждого типа, режим работы или коэффициент включения  $K_B$ , время наблюдения.

Порядок построения УД следующий.

1. Определяются возможные нагрузки (мощности),  $P_i$  рассматриваемого узла путем сочетаний различного числа включенных ЭП от 0 до максимального значения:  $0; P_1; P_2; \dots P_{max}$ .

2. Рассчитываются вероятности возможных нагрузок узла по схеме независимых испытаний

$$p(p_i) = p_n^m = \prod_{i=1}^n c_{n_i}^{m_i} K_B^{m_i} K_0^{n_i - m_i},$$

где  $c_{n_i}^{m_i} = \frac{n_i!}{m_i!(n_i - m_i)!}$ .

3. Определяется длительность протекания каждой возможной нагрузки узла  $t$

$$t(p_i) = p(p_i) T_H.$$

4. Строится упорядоченная диаграмма по значениям, полученным в п. 1 и в п. 4.

Проверка правильности расчета осуществляется по формуле:

$$\Sigma_p(p_i) = 1,$$

т.к. все возможные нагрузки узла представляют собой полную группу событий.

Интерпретация данного метода показана для узла нагрузки, приведенного на рис. 3.

Построить упорядоченную диаграмму активной мощности распределительного шкафа.

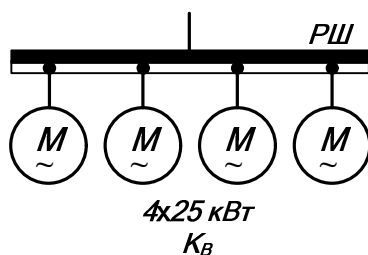


Рис. 3.

1. Определяем возможные нагрузки узла путем последовательного включения ЭП:  $P_i = 0; 25; 50; 75; 100 \text{ кВт}$ .

2. Находим вероятности их появления по схеме независимых испытаний

$$p(0) = p_4^0 = C_4^0 K_B^0 K_0^4 = K_0^4;$$

$$p(25) = p_4^1 = C_4^1 K_B K_0^3 = 4K_B K_0^3;$$

$$p(50) = p_4^2 = C_4^2 K_B^2 K_0^2 = 6K_B^2 K_0^2;$$

$$p(75) = p_4^3 = C_4^3 K_B^3 K_0^1 = 4K_B^3 K_0;$$

$$p(100) = p_4^4 = C_4^4 K_B^4 K_0^0 = K_B^4.$$

Сумма всех найденных вероятностей должна быть равна 1.

3. Определяем длительности протекания возможных нагрузок узла

$$t(0) = p(0)T_H = K_0^4 T_H;$$

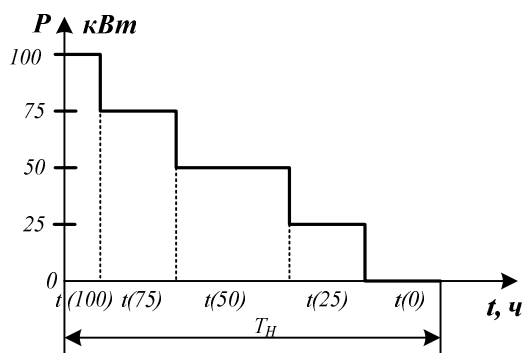
$$t(25) = p(25)T_H = 4K_B K_0^3 T_H;$$

$$t(50) = p(50)T_H = 6K_B^2 K_0^2 T_H;$$

$$t(75) = p(75)T_H = 4K_B^3 K_0 T_H;$$

$$t(100) = p(100)T_H = K_B^4 T_H.$$

4. Строим упорядоченную диаграмму по данным пунктов 1 и 3.



### Лекция 6.

#### Вероятностные характеристики и показатели графиков нагрузки

К вероятностным характеристикам графиков электрических нагрузок относятся средняя  $P_{cp}$ , среднеквадратическая (эффективная)  $P_{эф}$ , максимальная  $P_{max}$ , мощности. Их определяют по упорядоченной диаграмме по следующим выражениям:

$$P_{cp} = \frac{1}{T_H} \sum_{i=1}^m P_i t_i;$$

$$P_{эф} = \sqrt{\frac{1}{T_H} \sum_{i=1}^m P_i^2 t_i};$$

$$P_{max} = \frac{\sum_{j=1}^k P_j t_j + P_{j+1} \left( \theta - \sum_{j=1}^k t_j \right)}{\theta},$$

где  $P_i$  –  $i$ -тая ордината упорядоченной диаграммы;

$t_i$  – время, в течение которого наблюдается  $i$ -тая ордината мощности;

$P_j$  –  $j$ -ая ордината мощности по УД, попавшая во время максимума нагрузки;

$t_j$  – время, в течение которого наблюдалась  $j$ -тая ордината мощности;

$\theta$  – длительность максимума нагрузки.



В РФ принят получасовой максимум нагрузки, поэтому для графиков за наиболее загруженную смену и для суточных графиков  $\theta = 30 \text{ мин.}$

Вероятностные характеристики ГЭН имеют свое предназначение. Так, по средней мощности выбирают силовые трансформаторы и определяют расход электроэнергии или электропотребление:

$$W_a = P_c T_H .$$

По эффективной мощности находят нагрузочные (переменные) потери электроэнергии в элементе сети:

активные 
$$\Delta W_a = \frac{P_{\text{эф}}^2 + Q_{\text{эф}}^2}{U_{\text{ном}}^2} R_{\text{эл}} T_H ;$$

реактивные 
$$\Delta W_p = \frac{P_{\text{эф}}^2 + Q_{\text{эф}}^2}{U_{\text{ном}}^2} X_{\text{эл}} T_H ,$$

где  $U_{\text{ном}}$  - номинальное напряжение сети;

$R_{\text{эл}}$  - активное сопротивление элемента сети;

$X_{\text{эл}}$  - индуктивное сопротивление элемента сети.

По максимальной мощности выбирают элементы электрической сети.

При обобщенном исследовании и расчетах электрических нагрузок необходимо применение некоторых безразмерных показателей графиков нагрузки, характеризующих режим работы ЭП, которые также можно найти с помощью упорядоченной диаграммы.

Рассмотрим основные из них.

Коэффициент включения  $K_B = \frac{t_B}{t_p} = p$  – отношение продолжительности включения электроприемника в течение цикла ко всей продолжительности цикла. Он показывает степень использования ЭП во времени.

Коэффициент использования  $K_u = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{ном}}}$  – отношение средней мощности к номинальной (паспортной) мощности. Он характеризует степень использования ЭП по мощности. Данный показатель является справочной величиной.

Коэффициент спроса  $K_c = \frac{P_p}{P_{ном}}$  – отношение расчетной (максимальной)

нагрузки к номинальной. Он связывает расчетную нагрузку непосредственно с номинальной мощностью ЭП, минуя учет свойств графика в явной форме.

Коэффициент загрузки  $K_z = \frac{P_{cp(B)}}{P_{ном}}$ , где  $P_{cp(B)} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i t_i}{t_B}$  – отношение средней

мощности за время включения к номинальной. Данный показатель характеризует степень использования ЭП как по времени, так и по мощности.

Коэффициент формы  $K_\phi = \frac{P_{эф}}{P_{cp}}$  – отношение эффективной мощности к

средней. Он характеризует неравномерность графика во времени.

Коэффициент заполнения  $K_{зан} = \frac{P_{cp}}{P_{max}}$  – отношение средней мощности к

максимальной. Он характеризует заполнение, т.е. форму графика.

Коэффициент максимума  $K_{max} = \frac{P_{max}}{P_{cp}}$  – отношение максимальной

нагрузки к средней. Он связывает максимальную и среднюю нагрузки, учитывая в явной форме свойства графика.

Рассмотренные выше показатели связаны между собой:

$$K_u = K_z K_\phi; \quad K_{max} = \frac{1}{K_{зан}}$$

Схему независимых испытаний также можно применить не только для расчета трехфазных нагрузок, но и для определения расчетной нагрузки однофазных ЭП. К ним относят сварочные машины. Особую проблему составляет расчет электрических нагрузок машин контактной электросварки, которые являются однофазными ЭП с повторно - кратковременным режимом работы. Работая в группе, они создают суммарный график в виде случайных пиков большой частоты и малой продолжительности с паузами, заполненными некоторой средней нагрузкой (см. график на рис. 4).

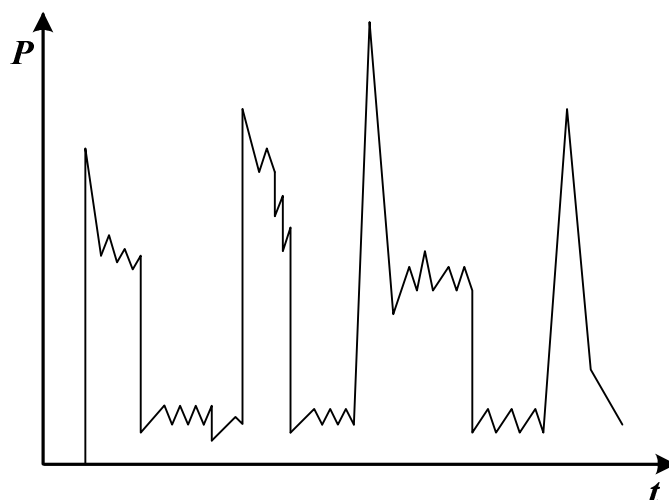
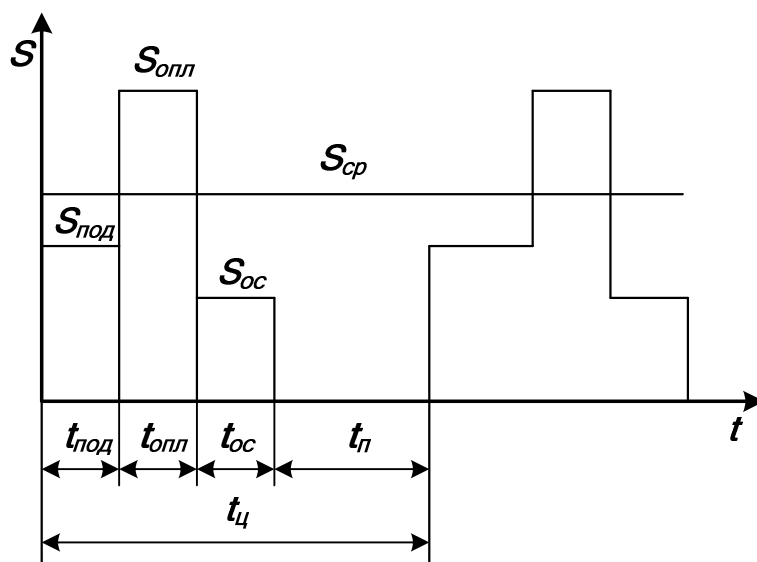


Рис. 4. Графики сварочной нагрузки

Для такого графика говорить о получасовом максимуме нельзя. В данном случае определяются следующие виды нагрузок:

- 1) средняя – для учета расхода электроэнергии;
- 2) среднеквадратическая – для выбора элементов сети по нагреву;
- 3) пиковая – для проверки выбранных по нагреву элементов по колебаниям напряжения и выбора коммутационно-защитной аппаратуры.

Если рассмотреть цикл работы одной стыковой сварочной машины, то он выглядит следующим образом, как показано на рис. 5.



$t_{под}$  – время подогрева,  $t_{опл}$  – время оплавления,  $t_{ос}$  – время осадки (в с).

Рис. 5. Цикл работы одной сварочной стыковой машины

Время цикла равно:  $t_{ц} = t_{под} + t_{опл} + t_{ос} + t_{п}$  (с).

Тогда средняя мощность равна: 
$$S_{cp} = \frac{S_{nod}t_{nod} + S_{онл}t_{онл} + S_{oc}t_{oc}}{t_u}$$
.

Мощности на графике обозначены аналогично.

Нам нужно построить УД для группового графика сварочной нагрузки. Необходимо отметить, что упорядоченная диаграмма строится по полной, а не по активной мощности.

Порядок построения УД следующий.

1) Определим возможные варианты работы ЭП, т.е. возможные нагрузки узла, с учетом того, что мощность одной машины равна

$$S = ПВ_{\phi} S_{насп.}$$

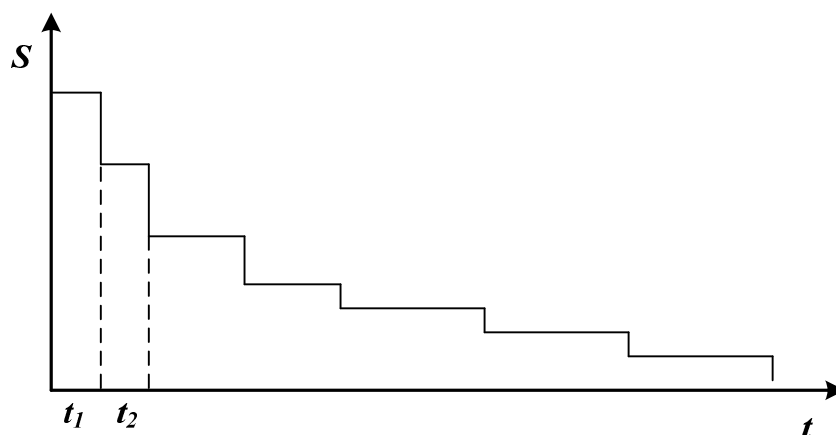
где  $ПВ_{\phi}$  – фактическая продолжительность включения, заменяет коэффициент включения для ЭП с повторно-кратковременным режимом работ ( $t_u \leq 10$  мин);

$S_{насп.}$  – паспортная (номинальная) мощность машины.

2) Определяем вероятность совпадения работы  $m$  машин из общего числа  $n$  при данном  $ПВ_{\phi}$  
$$P_{\phi}^m = C_{\phi}^m ПВ_{\phi}^m (1 - ПВ_{\phi})^{n-m}$$
.

3) Определяем время совпадения работы  $m$  машин из  $n$  для каждой возможной нагрузки узла  $t_i = p_n^{m_i} T_u$ .

4) Строим упорядоченную диаграмму.



Упорядоченная диаграмма

То есть алгоритм тот же, что и в предыдущем случае, только  $p_n^m$  определяется не по  $K_B$ , а по  $ПВ_{\phi}$ .

## Лекция 7

Формализация расчетов ЭН развивалась в нескольких направлениях и привела к методам:

1. эмпирическому (метод коэффициента спроса, удельного расхода э/э, удельной плотности нагрузок, технологического графика;
2. УД;
3. статистическому;
4. вероятностного моделирования.

### Метод коэффициента спроса.

Наиболее простой метод – метод коэффициента спроса, с него начинались расчеты эл. нагрузок.

Физический смысл  $K_c$  – это доля суммы  $P_{ном}$  ЭП, статистически отражающая  $\max$  практически ожидаемого режима одновременной работы и загрузки некоторого неопределенного сочетания установленных ЭП.

Поскольку  $K_c$  – соответствует  $\max$  значениям, а не средним, что завышает нагрузку, целесообразно учитывать его в целом по потребителю (участку, отделению, цеху).

$$P_{расч} = K_c \cdot P_{ном}$$

$$Q_{расч} = P_{расч} \cdot \operatorname{tg}\varphi = K_c \cdot P_{ном} \cdot \operatorname{tg}\varphi$$

### Метод удельного расхода э/э

Применим для отделений, участков, цехов, где технологическая продукция  $M$  однородна и количественно мало изменяется.

$$P_{\max} = \frac{W_{уд} \cdot M}{T_{\max}},$$

где  $W_{уд}$  – удельный расход э/э на единицу продукции

$M$  – продукция, выпускаемая за время  $T$

$T_{\max}$  – годовое число часов использования максимума активной мощности.

В данном случае максимальная нагрузка строго соответствует средней.

### Метод удельных плотностей нагрузки.

$$P_{\max} = \gamma \cdot F$$

$\gamma$  - удельная плотность максимальной нагрузки на 1 м<sup>2</sup> площади цеха (предприятия);

$F$  – площадь цеха (предприятия), м<sup>2</sup>.

### Метод технологического графика.

Опирается на график работы агрегата, машин или группы машин. Нагрузки определяются непосредственно по графикам.

### Метод УД.

Иногда данный метод называют методом коэффициента максимума. Метод громоздок, труден для понимания. наблюдаются ошибки при применении метода на высших уровнях электроснабжения.

### Статистический метод.

Достаточно эффективный и удобный метод. Имеет 2 интегральные характеристики: генеральную среднюю нагрузку  $P_{cp}$  и генеральное среднеквадратичное отклонение  $\sigma$ .

$$P_{\max} = P_{cp} \cdot \beta \sigma ,$$

$\beta$  - статистический коэффициент, зависящий от закона распределения вероятностей и принятой вероятности превышения графиком  $P(t)$  уровня  $P_{\max}$ .

$\sigma$  для стандартного группового графика определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{P_{\sigma}^2 - P_{cp}^2} = P_{cp} \sqrt{\kappa_{\phi}^2 - 1} ,$$

при этом  $\beta$  имеет различные значения ( $\beta=3$  соответствует  $p_{\beta}=0,9973$ ;  $\beta=2,5$  соответствует  $\alpha= 0,5\%$  или  $p_{\beta}=0,995$ ;  $\beta=1,6$  соответствует  $\alpha= 5\%$  или  $p_{\beta}=0,95$  – однако надежен).

### Определение средних нагрузок.

Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену определяется по выражениям

$$P_{cp} = \kappa_u P_{ном}$$

$$Q_{cp} = P_{cp} \cdot tg\varphi$$

среднегодовая

$$P_{cp} = \frac{\sum A_i}{T}$$

среднеквадратичная для независимых ЭП

$$P_{ск}^2 = P_{cp}^2 + \sigma_{\Sigma}^2,$$

$$\text{где } P_{cp}^2 = (\sum P_{cp_i})^2.$$

среднеквадратичная для зависимых ЭП

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \sum \sigma_i^2 + 2 \sum k_{ij} \sigma_i \sigma_j$$

$$P_{ск} = \sqrt{(\sum P_{cp_i})^2 + \sum P_{ск}^2 - \sum P_{ск}^2}$$

где  $k_{ij}$  - коэффициент корреляции.

$$I_{ск} = \frac{P_{ск}}{\sqrt{3}U_{ном}} \sqrt{1 + tg^2 \varphi}$$

$$P_{ск} = \kappa_{\phi} P_{cp}$$

### Основные соотношения между коэффициентами ГЭН.

$$\kappa_u = \kappa_{\phi} \kappa_z \quad \kappa_c = \kappa_u \kappa_m$$

$$\kappa_z = \frac{\kappa_u}{\kappa_{\phi}} \quad \kappa_{зан} = \frac{1}{\kappa_m}$$

Плотность суточного графика электропотребления характеризуется коэффициентом

$$\kappa_{сут} = \frac{A_{сут}}{24 P_{сут}^{max}}$$

$A_{сут}$  - э/э, потребленная за сутки, кВт\*ч;

$P_{сут}^{max}$  - max суточная нагрузка.

### Алгоритм расчета трехфазных электрических нагрузок.

Исходными данными для расчета являются:

План цеха, количество и мощность электроприемников, коэффициенты использования и мощности, разбивка по группам однотипных электроприемников по технологическому признаку и коэффициенту использования, наличие технологического резерва, номинальное напряжение.

Последовательность (алгоритм) расчета:

1) В тех случаях когда в характерную категорию входят электроприемники с продолжительностью включения < 100% то осуществляется пересчет их установленной (номинальной) мощности на ПВ 100%.

$$P_{уст.ПВ} = P_{уст} \cdot \sqrt{ПВ} \quad (1)$$

2) Определяем среднюю активную мощность для каждой характерной категории.

$$P_{cp} = \sum P_{ном} \cdot K_u ; \quad (2)$$

Где  $P_{ном}$  - Номинальная (паспортная) мощность электроприемника

$K_u$  - Коэффициент использования

3) Определяем среднюю реактивную мощность для каждой характерной категории.

$$Q_{cp} = P_{cp} \cdot tg\phi ; \quad (3)$$

4) Определяем эффективное число электроприемников по приближенной формуле

$$n_э = \frac{2 \sum P_n}{P_{н.мах}} ; \quad (4)$$

Или точной формуле:

$$n_э = \frac{(P_{ном})^2}{\sum P_{ном.i}^2} ; \quad (5)$$

Если  $N_э$  больше фактического кол-ва эл приемников то  $N_э$  равно фактическому кол-ву электроприемников.

5) Средневзвешенный коэффициент использования характерной категории.

$$K_{u.ср} = \frac{\sum P_{cp}}{\sum P_{ном}} ; \quad (6)$$



6) Коэффициент расчетной нагрузки  $K_p$  выбираем исходя из этапа расчета по таблицам 1 и 2 /7, с. 6/. Таблицы внесены в базу данных САПР как не редактируемый пользователем справочник.

В тех случаях когда значение  $K_i$  находится между двумя значениями таблицы то производим выбор интерполируя  $K_i$  и  $N_э$ .

Для высоковольтных ЭП и проводников с напряжением больше 1кв и для шин 6-10кв  $K_p = 1$ .

7) Расчетная активная нагрузка характерной категории.

$$P_p = K_p \cdot P_{cp}; \quad (7)$$

Где  $K_p$  - определен в шаге 6 алгоритма.

8) Расчетная реактивная мощность характерной категории.

Для низковольтной сети

$$Q_p = K_p \cdot Q_{cp}; \quad (8)$$

Для выбора магистральных шинопроводов и на шинах цеховых трансформаторных подстанций

$$Q_p = 1.1 \cdot Q_{cp}; \quad \text{при } N_э \leq 10 \quad (9)$$

$$Q_p = Q_{cp}; \quad \text{при } N_э > 10 \quad (10)$$

9) Полная расчетная мощность силовой нагрузки

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (11)$$

## Лекция 8.

### Расчет однофазных электрических нагрузок.

Для расчета однофазных электрических нагрузок исходными данными являются номинальная мощность установки, количество установок, коэффициенты использования и мощности, продолжительность включения, данные о том на линейное или фазное напряжение включена установка, разбивка по фазам или парам фаз. Расчетный алгоритм строится на основании методик изложенных в следующих источниках - /13, с. 74/ и /7/.

Последовательность (алгоритм) расчета:

1) Находим номинальные нагрузки для всех электроприемников приведенные к ПВ=100%

Для фазной нагрузки по каждому ЭП

$$P_{ном.ф} = n \cdot S_{ном} \cdot \sqrt{ПВ} \quad (12)$$

Для линейной нагрузки по каждому ЭП

$$P_{ном.л} = S \cdot \sqrt{ПВ} \cdot \cos \varphi \quad (13)$$

2) Общая мощность всех ЭП приведенная к ПВ 100%

$$P_{ном} \sum = \sum n \cdot P_{ном.ф} + \sum n \cdot P_{ном.л} \quad (14)$$

3) Подсчитываем общую нагрузку на фазу и пару фаз

$$P_a \sum = \sum P_{н.а} \cdot n \quad (15)$$

$$P_{ab} \sum = \sum P_{н.ab} \cdot n \quad (16)$$

4) Приводим линейную нагрузку к фазной по формулам приведения:

$$P_a = \sum P_{ab} \cdot p(ab)_a + \sum P_{ca} \cdot p(ca)_a + \sum P_{ao} \quad (17)$$

$$P_a = \sum P_{ab} \cdot p(ab)_a + \sum P_{ca} \cdot p(ca)_a + \sum P_{ao} \quad (18)$$

$$P_b = \sum P_{ab} \cdot p(ab)_b + \sum P_{bc} \cdot p(bc)_b + \sum P_{bo} \quad (19)$$

$$P_c = \sum P_{ca} \cdot p(ca)_a + \sum P_{bc} \cdot p(bc)_c + \sum P_{co} \quad (20)$$

$$Q_a = \sum P_{ab} \cdot q(ab)_a + \sum P_{ca} \cdot q(ca)_a + \sum Q_{ao} \quad (21)$$

$$Q_b = \sum P_{ab} \cdot q(ab)_b + \sum P_{bc} \cdot q(bc)_b + \sum Q_{bo} \quad (22)$$

$$Q_b = \sum P_{ab} \cdot q(ab)_b + \sum P_{bc} \cdot q(bc)_b + \sum Q_{bo} \quad (23)$$

$$Q_c = \sum P_{ca} \cdot q(ca)_a + \sum P_{bc} \cdot q(bc)_c + \sum Q_{co} \quad (24)$$

$$P_{ср.а} = \sum K_u \cdot P_{ab} \cdot p(ab)_a + \sum K_u \cdot P_{ca} \cdot p(ca)_a + \sum K_u \cdot P_{ao} \quad (25)$$

$$P_{ср.б} = \sum K_u \cdot P_{ab} \cdot p(ab)_b + \sum K_u \cdot P_{bc} \cdot p(bc)_b + \sum K_u \cdot P_{bo} \quad (26)$$

$$P_{ср.с} = \sum K_u \cdot P_{ca} \cdot p(ca)_a + \sum K_u \cdot P_{bc} \cdot p(bc)_c + \sum K_u \cdot P_{co} \quad (27)$$

$$Q_{ср.а} = \sum K_u \cdot P_{ab} \cdot q(ab)_a + \sum K_u \cdot P_{ca} \cdot q(ca)_a + \sum K_u \cdot P_{ao} \quad (28)$$

$$Q_{ср.б} = \sum K_u \cdot P_{ab} \cdot q(ab)_b + \sum K_u \cdot P_{bc} \cdot q(bc)_b + \sum K_u \cdot P_{bo} \quad (29)$$

$$Q_{cp.c} = \sum K_{u.a} \cdot P_{ca} \cdot q(ca)_a + \sum K_{u.b} \cdot P_{bc} \cdot q(bc)_c + \sum K_{u.c} \cdot P_{co} \quad (30)$$

Где  $p(ab)_a$ ,  $q(ab)_a$ , и т.д. являются коэффициентами приведения которые берем из таблицы 2.21 в зависимости от  $\cos \varphi$  /6. стр 75/

В тех случаях когда  $\cos \varphi$  лежит между значениями указанными в таблице находим его интерполяцией.

5) Находим полную среднюю мощность

$$S_{cp,max} = \sqrt{P_{cp,i}^2 + Q_{cp,i}^2} \quad (31)$$

Где  $i$  – фаза (a,b или c).

По полной мощности находим наиболее загруженную фазу

6) Находим средневзвешенный коэффициент использования

$$K_{u.a} = P_{cp.a} / P_{a.nom} \sum = P_{cp.a} / (P_{ab} + P_{ca}) / 2 + P_{ao} \quad (32)$$

$$K_{u.b} = P_{cp.b} / P_{b.nom} \sum = P_{cp.b} / (P_{ba} + P_{bc}) / 2 + P_{bo} \quad (33)$$

$$K_{u.c} = P_{cp.c} / P_{c.nom} \sum = P_{cp.c} / (P_{ca} + P_{bc}) / 2 + P_{co} \quad (34)$$

7) Находим эффективное число электроприемников

$$N_э = \frac{2 \cdot P_{ном} \sum}{3 \cdot P_{ном.max}} \quad (35)$$

Где  $P_{ном} \sum$  = Сумма номинальных мощностей (итого по исходной таблице  $P_{ном} \cdot N$ )

$P_{ном.max}$  – Номинальная мощность наибольшего ЭП (из исходной таблицы)

8) Коэффициент расчетной нагрузки  $K_p$  выбираем исходя из этапа расчета по таблицам 1 и 2 /7, с. 6/

9) Находим минимальную и максимальную номинальную мощности для определения неравномерности загрузки.

10) Определяем неравномерность нагрузки

$$H = \frac{P_{ном.max} - P_{ном.мин}}{P_{ном.мин}} \cdot 100 \quad (36)$$

11) Исходя из неравномерности загрузки определяем  $Q_p$  и  $P_p$ .

Если неравномерность нагрузки  $N \leq 15\%$

$$P_p = K_p \cdot (P_{cp.a} + P_{cp.b} + P_{cp.c}) \quad (37)$$

Если  $N \leq 10$

$$Q_p = K_p \cdot Q_{cp.max} \quad (38)$$

Где  $Q_{cp.max}$  –  $Q_{cp}$  наиболее загруженной фазы

Если  $N > 10$

$$Q_p = 1,1 \cdot K_p \cdot Q_{cp.max} \quad (39)$$

Если неравномерность нагрузки  $N > 15\%$

$$P_p = 3 \cdot K_p \cdot P_{cp.max} \quad (40)$$

Где  $P_{cp.max}$  – Средняя мощность наиболее загруженной фазы

Если  $N \leq 10$

$$Q_p = K_p \cdot Q_{cp.max} \quad (41)$$

Где  $Q_{cp.max}$  –  $Q_{cp}$  наиболее загруженной фазы

Если  $N > 10$

$$P_p = 3 \cdot K_p \cdot P_{cp.max} \quad (42)$$

12) Полная мощность

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (43)$$

## Лекция 9.

Расчет электрической нагрузки сварочных электроприемников.

Исходными данными для расчета являются: являются номинальная мощность установки, количество установок, коэффициент использования, продолжительность включения, разбивка по парам фаз.

Последовательность (алгоритм) расчета:

1) Определяем среднюю мощность каждой машины

$$S_{cp} = K_3 \cdot ПВ \cdot S_{ном} \quad (44)$$

Где  $S_{cp}$  - Коэффициент загрузки

ПВ - Продолжительность включения

$S_{ном}$  - Номинальная мощность электроприемника

2) Определяем среднюю мощность каждой пары фаз

$$S_{cp.ab} = \sum_1^i S_{ном.i} * N_i \quad (45)$$

Где  $S_{ном.i}$  - Номинальная мощность электроприемника

$N_i$  - Количество

3) Определяем неравномерность загрузки

$$H = \frac{S_{max} - S_{min}}{S_{min}} * 100 \quad (46)$$

Где  $S_{max}$  - Максимальная мощность пары фаз

$S_{min}$  - Минимальная мощность пары фаз

4) Определяем эквивалентную среднюю нагрузку наиболее загруженной фазы или пары фаз

При  $H \leq 15\%$

$$S_{cp} = 3 * S_{cp.max} \quad (47)$$

При  $H > 15\%$

Для каждой из фаз:

$$S_{cp} = \sqrt{3} * \sqrt{S_{cp.ab}^2 + S_{cp.bc}^2 + S_{cp.ab} * S_{cp.bc}} \quad (48)$$

$$S_{cp} = \sqrt{3} * \sqrt{S_{cp.bc}^2 + S_{cp.ca}^2 + S_{cp.bc} * S_{cp.ca}} \quad (49)$$

$$S_{cp} = \sqrt{3} * \sqrt{S_{cp.ca}^2 + S_{cp.ab}^2 + S_{cp.ca} * S_{cp.ab}} \quad (50)$$

5) Определяем среднеквадратичную нагрузку каждой машины

$$S_{cp} = K_3 * \sqrt{ПВ} * S_{ном} \quad (51)$$

6) Определяем среднеквадратичную мощность каждой пары фаз

$$S_{ck} = \sqrt{\left(\sum_1^n S_{cp.i}\right)^2 + \sum_1^n (S_{ck.i}^2 - S_{cp.i}^2)} \quad (52)$$

7) Определяем эквивалентную среднеквадратичную мощность наиболее загруженной фазы.

При  $H < 15\%$

$$S_{p.э} = 3 \cdot S_{ck.max} \quad (53)$$

При  $H > 15\%$

Для каждой из фаз:

$$S_{p.э} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{S_{ck.ab}^2 + S_{ck.bc}^2 + S_{ck.ab} \cdot S_{ck.bc}} \quad (54)$$

$$S_{p.э} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{S_{ck.bc}^2 + S_{ck.ca}^2 + S_{ck.bc} \cdot S_{ck.ca}} \quad (55)$$

$$S_{p.э} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{S_{ck.ca}^2 + S_{ck.ab}^2 + S_{ck.ca} \cdot S_{ck.ab}} \quad (56)$$

## Лекция 10.

### Внешнее электроснабжение.

Исходные данные для проектирования и их анализ.

Система электроснабжения состоит из источников питания и линий электропередачи, осуществляющих передачу электроэнергии к предприятию, коммунальных, распределительных и преобразовательных подстанций и связывающих их кабелей и ВЛ, токопроводов, обеспечивающих на требуемом уровне подвод электроэнергии к ее потребителям.

Далее рассматриваются исходные данные для окончательного выбора схемы электроснабжения.

При построении электроснабжения необходимо учитывать ряд специфических особенностей:

наличие электроприемников особой группы I категории;

наличие электроприемников с резкопеременными нагрузками;

режимы работы наиболее ответственных агрегатов;

требования технологии, недоучет которых может привести либо к недостаточному, либо к излишнему резервированию.

Показывается как работать с генпланом предприятия.

## Лекция 11.

### Источники питания и пункты приема электроэнергии.

Основными источниками питания являются электростанции и сети электрических компаний.

Сооружения собственных ТЭЦ целесообразно на предприятиях со значительным теплотреблением или при значительной удаленности ЭЭС, ее недостаточной мощности или при наличии групп электроприемников, требующих высокой бесперебойности питания.

Дается характеристика ТЭЦ, принадлежащих предприятию.

Независимым источником питания группы электроприемников является источник питания, на котором сохраняется напряжение при исчезновении его на других источниках питания (ИП) этой группы ЭП.

При этом напряжение данного ИП должно быть в пределах, установленных для устойчивой работы ЭП в условиях послеаварийного режима.

Приводятся примеры независимых ЭП ИП.

Пунктом приема электроэнергии называется электроустановка, служащая для приема и распределения, или преобразования и распределения) ее между ЭП предприятия непосредственно или через другие электроприемники.

Число, тип пунктов приемом зависят от мощности, потребляемой предприятием, от характера размещения электрических нагрузок на его территории. К пунктам приема относятся ГПП, УРП, ПГВ, ЦРП, РП, ТП.

Характеризуется каждый из перечисленных пунктов приема электроэнергии показывается их область применения.

## Лекция 12.

### Схемы внешнего электроснабжения.

Главные принципы построения схем электроснабжения:

- максимальное приближение источника ВН к электроустановкам потребителей;

- отказ от холодного резерва;
- глубокое секционирование всех звеньев системы;
- выбор в качестве основного режима работы раздельную работу линий, трансформаторов;
- использование допустимой перегрузки элементов сети в послеаварийном режиме.

Различают два принципиальных случая подключения предприятия к энергосистеме: подключение к ПС или ГРУ ТЭЦ; подключение к ЛЭП.

Рассматриваются возможности присоединения к ИП через выключатель по разным схемам.

Присоединение к ЛЭП определяется топологией сети. Также рассматриваются способы подключения предприятия к ЛЭП.

Следующий этап лекции – изучение характерных схем электроснабжения предприятий при питании:

- а) только от энергосистемы;
- б) от энергосистемы и от собственных ТЭЦ;
- в) только от собственных ТЭЦ.

### Лекция 13.

#### Глубокие воды.

Глубоким вводом называется система электроснабжения с максимально возможным приближением высшего напряжения (35-330 кВ) к электроустановкам потребителей при минимальном числе ступеней промежуточной трансформации.

Линии глубокого ввода выполняются радиальными и магистральными схемами.

Преимущества глубоких вводов:

- отпадает необходимость в промежуточных РП;
- резко сокращается распределительная сеть, напряжением 10 (6) кВ;



- снижаются рабочие, емкостные токи, токи короткого замыкания на вторичном напряжении;

- значительно облегчается задача регулирования напряжения;

- ПГВ выполняются по простым схемам.

Рассматриваются магистральные глубокие вводы, дается их характеристика, схемы и область применения.

Затем рассматриваются радиальные глубокие вводы по тому же принципу. Дается сравнительный анализ радиальных и магистральных глубоких вводов.

#### Лекция 14.

##### Внутреннее электроснабжение.

Внутреннее электроснабжение делится на высоковольтное и низковольтное.

Элементами схем высоковольтного электроснабжения являются: ТП 10 (6)/0,4 кВ; РП; кабельные сети, токопроводы напряжением выше 1 кВ.

Элементами схем низковольтного электроснабжения являются: цеховые кабельные сети, магистральные и распределительные шинопроводы, проводка, распределительные щиты, шкафы, шинные пункты, распределительные ящики.

Дается краткая характеристика элементов схем внутреннего электроснабжения.

Рассматриваются магистральные, радиальные и смешанные схемы внутреннего электроснабжения, одноступенчатые и двухступенчатые.

Магистральные схемы применяются в тех случаях когда потребителей много и радиальные схемы нецелесообразны из-за большого числа звеньев коммутации. Число силовых трансформаторов, подключенных к одной магистрали, зависит от их мощности и требований по надежности.

Обычно к магистрали подключается два-три трансформатора при мощности одного трансформатора  $\geq 1000$ кВА, пять-шесть, если мощности одного  $\leq 630$  кВА.

Магистральные схемы делятся на одиночные, двойные, кольцевые.

Сквозные магистрали предусматривают глухие присоединения на входе и выходе магистрали без установки выключателей и предохранителей на вводе трансформаторных подстанций.

Также бывают встречные магистрали.

Приводится сравнительный анализ радиальных и магистральных схем.

Смешанные схемы – это радиально-магистральные схемы.

Приводятся примеры всех типов схем и дается их характеристика.

## Лекция 15.

### Определение центра электрических нагрузок.

#### Выбор места расположения подстанций.

Картограммой нагрузок называется план, на котором окружностями нанесены нагрузки, т.е. это картина средней интенсивности распределения нагрузок приемников электроэнергии.

Площади окружностей в принятом масштабе равен расчетным нагрузкам цехов или электроприемников.

Каждому цеху и участку (ЭП) соответствует окружность, центр которой совмещают с расчетной мощностью приемника ЭЭ и его значение находят из условия равенства расчетной мощности площади круга с учетом принятого масштаба.

После построения картограммы определяют центр электрических нагрузок как некоторую стабильную точку на плане или условный центр электрических нагрузок и жилые зоны рассеяния центров электрических нагрузок.

Картограмма нагрузок и центр электрических нагрузок применяют для отыскания места расположения понизительной подстанции на плане.

Месторасположение ПС выбирается таким образом, чтобы трансформаторные и преобразовательные ПС всех мощностей и напряжений располагались по возможности ближе к центру питаемых ими групп нагрузок.

Отступление от этого принципа ведет к увеличению потерь мощности и расхода проводникового материала.

РП смещают к наибольшей нагрузке и располагают ближе к ИП. Выбор места РП в первую очередь определяется наличием высоковольтных двигателей.

Если от РП питаются только цеховые ТП, то месторасположение РП выбирается на генплане по возможности смещенным от ЦЭН в сторону ИП.

## Лекция 16.

Выбор рационального напряжения систем электроснабжения, числа и мощности трансформаторов ГПП или ПГВ.

Внешнее электроснабжение.

Общие рекомендации при выборе напряжения:

При установленной мощности свыше 100 МВт и значительной удаленности от ПС энергосистемы экономически целесообразно принимать 220 кВ; если на районной ПС есть напряжение 110 кВ, то практически в любом диапазоне мощностей и расстояний следует использовать 110 кВ (за исключением сотен МВт и десятков км).

В диапазоне мощностей 30-100 МВт выгодно 110 кВ даже при условии промежуточной трансформации на районной ПС.

Внутреннее электроснабжение.

Для распределительных сетей применяется напряжение 6,10 кВ и 0,4 кВ. Напряжение 6 или 10 кВ выбирается в зависимости от соотношения нагрузок. Критерий выбора приведенные затраты, в которых учитывается как показатели сети, так и показатели ПС.

Использование 6 кВ целесообразно в двух случаях: при питании предприятия от ТЭЦ на генераторном напряжении 6 кВ; при значительной доле электродвигателей 6 кВ с суммарной нагрузкой предприятия.

Напряжение 35 кВ экономически целесообразно при передаче мощности до 10-15 МВт на расстояние 15-20 км или 20-30 МВт на расстояние 5-10 км

Возможно применение двух напряжений 10 и 6 кВ. Рассматриваются такие случаи и дается их характеристика.

Приводится порядок выбора напряжения схемы внутреннего электроснабжения методом планирования эксперимента.

Выбор числа и мощности трансформаторов для ГПП (ПГВ).

Число силовых трансформаторов на ГПП (ПГВ) определяется требованиями надежности. На ГПП (ПГВ) 110-220 кВ промпредприятий наибольшее распространение получили двухтрансформаторные подстанции. Однотрансформаторные ПС применяются в случае обеспечения питания нагрузок первой категории в послеаварийном режиме по связям вторичного напряжения ПГВ (ГПП), с ТЭЦ или другими источниками питания.

Для правильного выбора номинальных мощностей силового трансформатора необходимо иметь суточный ГЭН, из которого известны максимальная и средняя нагрузки силового трансформатора. При этом наиболее экономичной работа СТ по ежегодным издержкам и потерям будет случаи, когда в часы максимума он работает с перегрузкой. В реальных условиях значение допустимой нагрузки выбирается в соответствии с ГЭН и коэффициента начальной нагрузки и зависит от температуры окружающей среды, при которой работает СТ.

Мощность трансформаторов выбирают по средней активной нагрузке и некомпенсированной реактивной мощности при оптимальном коэффициенте загрузки.

## Лекция 17.

Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения.

Рассматривается проблема компенсации реактивной мощности. Приводятся основные потребители реактивной мощности и их характеристика. Характеризуются способы уменьшения потребления реактивной мощности основными приемниками электроэнергии.

К таким способам относятся:

замена недогруженных АД на двигатели меньшей мощности, облегчение условий их пуска;

секционирование обмоток статора недогруженных АД, применение тиристорных регуляторов в цепи статора недогруженных АД;

понижение напряжения у двигателей, систематически работающих с малой нагрузкой;

ограничение ХХ у АД и сварочных трансформаторов;

применение СД вместо АД в тех случаях, когда позволяет технология производства;

применение синхронизированных АД;

применение наиболее целесообразной силовой схемы и системы управления вентильного преобразователя.

Изучаются искусственные мероприятия по компенсации реактивной мощности.

К средствам искусственной компенсации реактивной мощности относят батареи конденсаторов, синхронные двигатели и компенсаторы, статические источники реактивной мощности. Приводится сравнительный анализ всех типов компенсирующих устройств.

Рассматриваются способы подключения батарей конденсаторов к сети: индивидуальные, групповые и централизованные.

Рассматриваются принципы автоматического регулирования мощности батарей конденсаторов.

## Лекция 18.

### Определение мощности батарей конденсаторов в сети напряжением до 1000 В

Рассмотрим алгоритм определения мощности и типа компенсирующих устройств для распределительной сети предприятий.

Суммарная расчетная мощность батарей конденсаторов (БК) напряжением до 1000 В определяется для каждого цеха по минимуму приведенных затрат. Расчет состоит из двух этапов:

выбор экономически оптимального числа трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций;

определение дополнительной мощности БК в целях оптимального снижения потерь в трансформаторах и в распределительной сети 6-10 кВ.

Определение минимального числа трансформаторов, необходимое для питания активной нагрузки цеха определяется по формуле:

$$N_{T \min} = \frac{P}{K_3 S_T},$$

где  $P$  - среднестатистическая расчетная активная нагрузка цеха;

$K_3$  - коэффициент загрузки трансформатора;

$S_T$  - номинальная мощность трансформатора.

Полученное число  $N_{T \min}$  округляем до ближайшего большего целого.

Затем определяется экономически оптимальное число трансформаторов по выражению:

$$N_{TЭ} = N_{T \min} + m,$$

где  $m$  - дополнительное число трансформаторов, определяемое по кривым /20/.

По выбранному количеству трансформаторов находится наибольшая реактивная мощность, которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть напряжением до 1000 В.

$$Q_T = \sqrt{(N_{TЭ} K_3 S_T)^2 - P^2}$$

Суммарная мощность БК для данной группы трансформаторов

$$Q_I = Q_H - Q_T,$$

где  $Q_H$  - среднестатистическая реактивная нагрузка цеха. Если  $Q_I < 0$ , то по первому этапу расчета установка БК в сети напряжением до 1000 В не

требуется. Дополнительная мощность БК для данной группы трансформаторов по второму этапу расчета равна:

$$Q_2 = Q_m - Q_1 - \gamma N_{TЭ} S_T,$$

где  $\gamma$  - расчетный коэффициент, определяемый в зависимости от схемы питания трансформаторных подстанций по показателям  $K_1$  и  $K_2$  /20/.

Значение  $K_1$  находится по таблице /20/ в зависимости от числа рабочих смен и расчетной стоимости потерь.

Значение  $K_2$  определяется по формуле

$$K_2 = \iota S_T / F,$$

где  $\iota$  - длина питающей линии;

$F$  - общее сечение линии.

Если окажется, что  $Q_2 < 0$ , то для данной группы трансформаторов дополнительная установка БК по второму условию не требуется. Суммарная мощность БК в сети напряжением до 1000 В для данного цеха определяется как сумма  $Q_1$  и  $Q_2$ .

Конденсаторные батареи распределяются по ТП пропорционально их реактивным нагрузкам.

## Лекция 19.

### Определение реактивной мощности генерируемой синхронными двигателями.

На предприятиях имеется большой парк синхронных двигателей (СД), поэтому целесообразно использовать их для КРМ. Каждый установленный синхронный двигатель является источником реактивной мощности, минимальная величина которой определяется формулой:

$$Q_{СД} = P_{СД ном} \operatorname{tg} \varphi_{ном} K_{з СД},$$

где  $P_{СД ном}$  - номинальная активная мощность СД;

$\operatorname{tg} \varphi_{ном}$  - номинальный коэффициент РМ;

$K_{з СД}$  - коэффициент загрузки по активной мощности.

Использование СД в качестве ИРМ целесообразно, если их  $K_3 < 1$  и если их номинальная мощность больше или равна 2000 кВт при частоте вращения

$n = 3000$  об/мин,

2500 при  $n = 1000$  об/мин,

3200 при  $n = 750$  об/мин и 600 об/мин,

4000 при  $n = 500$  об/мин.

В этом случае располагаемая активная мощность СД равна

$$Q_{СД} = \alpha_n S_{СД ном} = \alpha_{ном} \sqrt{P_{СД ном}^2 + Q_{СД ном}^2},$$

где  $\alpha_n$  - коэффициент допустимой перегрузки СД, зависящий от его загрузки по активной мощности, определяемый по номограмме /20/.

Можно использовать СД меньшей мощности, чем указано выше для КРМ при необходимости компенсации реактивной мощности на стороне 6-10 кВт. В этом случае

$$Q_{СД} = Q_{СД}.$$

## Лекция 20

### Балансовый расчет по КРМ

Прежде всего необходимо для каждого РП определить некомпенсированную реактивную нагрузку на стороне 10 кВ.

$$Q_B = Q_m - Q_{нф} + \Delta Q_T - Q_{СД},$$

где  $Q_{нф}$  - фактически принятая мощность БК напряжением до 1000 В;

$\Delta Q_T$  - суммарные реактивные потери в трансформаторе при его коэффициенте загрузки  $K_3$  с учетом компенсации.

Суммарная реактивная нагрузка для всего предприятия определяется из условия баланса реактивной мощности.

$$Q_{АГК} = \sum_{i=1}^n Q_{pn_j} - Q_{\text{э1}},$$

где  $Q_{pn_j}$  - реактивная нагрузка на шинах 10 кВ  $i$ -того РП;



$n$  – количество РП на предприятии;

$Q_{\Sigma 1}$  - входная РМ, заданная энергосистемой на шинах 10 кВ.

Установку БК напряжением выше 1000 В необходимо предусмотреть на РП, где нет высоковольтных СД с учетом того, что к каждой секции РП необходимо подключать БК одинаковой мощности не меньшей 1000 квар. В противном случае БК нужно устанавливать на ГПП.

## Лекция 21.

### Выбор сечения жил кабельных линий.

При проектировании распределительной сети промышленного предприятия производится выбор отдельных ее элементов т.о., чтобы обеспечить экономичность и надежность работы сети в нормальных и послеаварийных режимах работы. Одним из важнейших вопросов при этом является выбор сечений проводов и жил кабелей с учетом ряда технических и экономических факторов.

Среди технических факторов, влияющих на выбор сечения важны:

- 1) нагрев от длительного выделения теплоты расчетным током;
- 2) нагрев от кратковременного выделения теплоты током КЗ;
- 3) потеря напряжений в жилах кабелей или проводов ЛЭП от тока нагрузки в нормальном или послеаварийном режимах;
- 4) механическая прочность – устойчивость к механической нагрузке.

Технические и экономические условия в процессе расчета дают различные сечения для одной и той же линии. Окончательно выбираются сечения, удовлетворяющие всем требованиям.

Выбор сечения кабелей по нагреву.

Расчетным током осуществляется по максимальному рабочему току с учетом поправочных коэффициентов на условия прокладки, температуру окружающей среды. Проверка осуществляется по нагреву в послеаварийном режиме, тогда вводится еще и коэффициент допустимой перегрузки.

Для выбора термически стойкого сечения жил кабеля необходимо знать значения установившегося тока КЗ и максимально возможное время прохождения этого тока через кабель, которое обусловлено действием защитных устройств и отключающей аппаратуры. Чтобы кабели были термически устойчивы к токам КЗ расчетная температура не должна превышать допустимую для изоляции данного кабеля. Термическое действие тока КЗ оценивают импульсом, по которому и определяют минимально допустимое сечение по условиям термической стойкости.

Экономически целесообразные сечения выбирается либо по среднегодовым эквивалентным расходам, либо приближенным методом Ньютона. Распределительная сеть 6-10 кВ проверяется на наибольшую потерю напряжения от центра питания до наиболее удаленного потребителя.

## Лекция 22.

### Способы прокладки кабелей.

Кабели прокладывают в траншеях, каналах, туннелях, блоках, на эстакадах. Способ прокладки зависит от количества и важности кабелей, плана предприятия, условия среды.

Прокладка кабелей в земле в траншеях наиболее дешева и экономична. В одной траншее прокладывают до 6 кабелей напряжением до 10 кВ включительно.

Прокладка кабелей в каналах используется при числе кабелей в потоке 25-30. При этом используют типовые кабельные каналы из сборных железобетонных элементов.

Прокладка кабелей в туннелях самая дорогая. В них прокладывают 30-40 кабелей. Туннели строят из сборного железобетона. В них предусмотрены вентиляция и пожарная защита.

Прокладка кабелей на эстакадах, в галереях, по стенам зданий применяется на тех предприятиях, где территория насыщена различными

подземными коммуникациями, или где агрессивная почва или возможное скопление тяжелых взрывоопасных паров.

В этих случаях прокладывают более 20 штук кабелей.

Прокладка кабелей в блоках (от 4 до 20 штук) – основная наряду с эстакадами для загрязненных предприятий. основное преимущество прокладки в блоках – защищенность от механических повреждений.

### Лекция 23.

#### Промышленные токопроводы.

При передаваемых мощностях более 15-20 МВА на напряжении 6 кВ и 25-35 МВА на напряжении 10 кВ целесообразно применять токопроводы. Как правило, это предприятия с высокой плотностью электрических нагрузок и концентрированном расположении крупных мощностей. Кроме того, токопроводы служат для связи шин ПГВ или ГПП с заводской ТЭЦ.

Выбор сечения шин токопроводов осуществляется по нагреву длительно допустимым током, по экономическим соображениям, проверка – по термической и динамической стойкости к токам КЗ.

Преимущества токопроводов:

- повышение надежности электроснабжения;
- улучшение эксплуатации электросетей;
- повышенная способность к перегрузке в послеаварийном режиме.

Недостатки токопроводов:

большие значения индуктивного сопротивления.

Токопроводы проектируются только взаимно резервируемыми нитками.

По конструкции токопроводы делятся на жесткие и гибкие.

По условиям прикосновения – на скрытые, закрытые, защищенные. Жесткие токопроводы используют на напряжении 6-10 кВ, гибкие – 6-35 кВ.

Лучшие характеристики наблюдаются у симметричных жестких токопроводах.

Шины токопроводов изготавливают из алюминия и его сплавов.

Применяют коробчатые шины, плоские, в виде трубы, двойного Т, полукруга, полуквadrата. Рассматриваются способы прокладки токопроводов: в закрытых эстакадах, наземных галереях, на железобетонных кронштейнах.

#### Лекция 24.

##### Режимы нейтрали в распределительных сетях.

Нейтраль сети определяют как совокупность соединенных между собой нейтральных точек и проводников. Различают глухозаземленные нейтрали, изолированные и компенсированные. Глухозаземленная нейтраль может работать в режиме разземления, тогда ее называют эффективно разземленной нейтралью.

Глухозаземленные и эффективно разземленные нейтрали применяют в сетях 110 кВ и выше. Изолированные и компенсированные нейтрали – в сетях 6-35 кВ. Достоинством сетей с изолированной нейтралью является то, что они могут работать, не нарушая режима технологического процесса, при однофазном замыкании на землю (до двух часов). Выполнение релейной защиты в таких сетях дешевле. Однако при однофазном заземлении на землю в установках с изолированной нейтралью напряжение на «здоровых» фазах увеличивается в  $\sqrt{3}$  раз, что может привести к пробое изоляции и нарушению нормальной работы сети.

Для предотвращения таких ситуаций нейтраль заземляют через индуктивные, активные сопротивления, можно через емкостные или их комбинацию.

Электроустановки до 1 кВ в основном работают с глухозаземленной нейтралью.

Компенсация емкостных токов способствует быстрому гашению дуги в месте замыкания на землю.

## **4. Практические занятия**

### **4.1. Методические рекомендации по проведению практических занятий**

Практические занятия проводятся для того, чтобы студенты могли получить основные навыки в основах проектирования систем электроснабжения.

В практических занятиях примеры подбираются в соответствии со спецификой специальности, при этом используются реальные схемы объектов и систем.

По практическим занятиям используются специализированные задачи отдельно для каждой специальности на индивидуальных карточках.

Согласно учебных планов предусмотрено 8 практических занятий (ПЗ), перечень которых приведен ниже.

ПЗ 1. Анализ графиков электрических нагрузок. Построение упорядоченных диаграмм.

ПЗ 2. Расчет трехфазных электрических нагрузок.

ПЗ 3. Расчет однофазных электрических нагрузок. Расчет нагрузок контактной электросварки.

ПЗ 4. Определение параметров схем внешнего электроснабжения.

ПЗ 5. Определение параметров схем внутреннего электроснабжения.

ПЗ 6. Выбор низковольтных компенсирующих устройств.

ПЗ 7. Определение экономически целесообразной реактивной мощности, генерируемой синхронными двигателями.

ПЗ 8. Выбор высоковольтных компенсирующих устройств. Баланс реактивной мощности.

В процессе обучения студенты пользуются информационными и компьютерными технологиями. Широко применяются программные продукты MathCad, Visio, «ZAPUSK», «САПР «Карат»», используется банк данных кафедры, содержащий электронные варианты учебников, справочные данные, а также информацию о современном оборудовании.

Практические занятия рекомендуется проводить согласно следующему плану.

*План проведения практического занятия.*

1. Цель занятия.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Блиц-опрос студентов.
4. Решение задач.
5. Анализ качества выполнения индивидуальных домашних заданий и разбор типовых ошибок.
6. Выводы и обобщение результатов.
7. Домашнее задание и задание на самостоятельную проработку.

На первом занятии целесообразно устроить входной контроль, на последнем – комплексную проверку качества знаний студентов.

При изложении кратких теоретических сведений рекомендуется систематизировать и обобщить материал, выделив при этом главные моменты. В процессе изложения материала целесообразно вовлекать студентов в его анализ, активизировать процесс мышления студентов за счет средств интенсивного обучения.

Блиц-опрос студентов или небольшая самостоятельная работа по теме практического занятия позволят лучше усвоить ход решения задач, понять их сущность.

При решении задач можно использовать разные формы. Например, преподаватель, решая задачу на доске, поясняет ее и привлекает к работе всю группу путем вопросов, постоянно подводя студентов к правильному решению. Другая форма решения задач - самостоятельная работа студентов под контролем преподавателя с пояснением наиболее трудных моментов. Возможно решение задачи на доске студентом, но в этом случае преподаватель руководит процессом решения и вовлекает в работу всю группу.

Как правило, защита индивидуальных домашних заданий должна проводиться во внеаудиторное время, а на практическом занятии следует показать типовые ошибки, проанализировать результаты выполнения и защиты индивидуальных заданий, отметить лучшие и худшие из них, предложить студентам в виде деловой игры принять решение по устранению замечаний.

В конце практического занятия преподаватель называет тему следующего, указывает разделы теоретического материала, которые студент должен освоить для наиболее эффективного решения задач, выдает домашнее задание.

В процессе проведения практических занятий используются классические и современные педагогические технологии.

## **4.2. Методические указания по проведению практических занятий**

Методика расчета трехфазных электрических нагрузок.

В настоящее время существует несколько методов расчета трехфазных электрических нагрузок. Рассмотрим их достоинства и недостатки.

### **1) Метод коэффициента спроса.**

Для определения расчетных нагрузок по этому методу необходимо знать установленную мощность группы приемников и коэффициенты мощности и спроса для группы электроприемников, определяемые по справочным материалам.

Расчетную нагрузку узла системы электроснабжения, содержащего группы приемников электроэнергии с различными режимами работы, определяют с учетом разновременности максимумов нагрузки отдельных групп электроснабжения не должна быть меньше его средней нагрузки.

Определение расчетной силовой нагрузки по установленной мощности и коэффициенту спроса является приближенным методом расчета, поэтому его применение рекомендуют для предварительных расчетов и определения общецеховых нагрузок.

Ввиду того, что погрешность расчета в некоторых случаях достигает 50% в настоящее время эту методику применять не рекомендуется.

## 2) Статистический метод расчета нагрузок.

По этому методу расчетную нагрузку группы приемников определяют двумя интегральными показателями: средней нагрузкой и среднеквадратическим отклонением.

Статистический метод позволяет определять расчетную нагрузку с любой принятой вероятностью ее появления. Применение этого метода целесообразно для определения нагрузок по отдельным группам и узлам приемников электроэнергии напряжением до 1 кВ. Его реализация возможна на основе реальных графиков.

К недостаткам метода следует отнести необходимость иметь актуальную для данного производства базу данных описывающую нагрузки за длительный период времени.

## 3) Метод упорядоченных диаграмм.

По этому методу расчетную активную нагрузку приемников электроэнергии на всех ступенях питающих и распределительных сетей (включая трансформаторы и преобразователи) определяют по средней мощности и коэффициенту максимума из выражения.

Расчет ведется в два этапа. Первый этап – для выбора цеховых ТП и шин магистральных шинопроводов. Второй этап – для выбора элементов низковольтной распределительной сети.



В методе упорядоченных диаграмм принята допустимая для инженерных расчетов погрешность, равная 10%. Однако на практике применение этого метода обуславливает погрешность 20-40 %, и поэтому применение его требует тщательного анализа исходных данных и результатов расчета.

#### 4) Метод коэффициента расчетной нагрузки

Расчет нагрузок на всех ступенях до цеховых трансформаторов подстанций включительно проводится по расчетным коэффициентам с последующей проверкой всей расчетной нагрузки цеха. Расчетные коэффициенты являются справочной информацией и определены для большинства производств.

Этот метод по сравнению с другими обеспечивает наибольшую точность (до 10%).

Как можно видеть все методы обладают своими достоинствами и недостатками поэтому, обратившись к "Указаниям по определению электрических нагрузок в промышленных установках" обратим внимание на то, что основным методом определения расчетной нагрузки является метод, использующий коэффициент расчетной нагрузки.

#### Методика расчета однофазных электрических нагрузок.

На промышленном предприятии наряду с трехфазными приемниками электроэнергии имеют место стационарные и передвижные приемники однофазного тока, подключаемые на фазное или линейное напряжение. При проектировании стремятся распределить мощности однофазных приемников по фазам трехфазной сети равномерно. Однако это не всегда удается.

В тех случаях, когда не удастся равномерно распределить нагрузки по фазам или парам фаз, то необходимо найти наиболее загруженную фазу, при этом наиболее загруженной считают фазу, имеющую наибольшую среднюю нагрузку от однофазных приемников. Среднюю нагрузку каждой фазы при смешанном включении однофазных приемников (наиболее общий случай), когда часть приемников включена на фазное, а часть - на линейное напряжение, определяют суммированием однофазных нагрузок данной фазы (фаза-нуль) и

однофазных нагрузок, включенных на линейное напряжение, приведенных к этой фазе и фазному напряжению с помощью коэффициентов приведения.

#### Методика расчета сварочных электрических нагрузок.

Технические и конструктивные особенности сварочных электроприемников не позволяют использовать тот же подход что и для обычных электроприемников, следовательно, необходимо автоматизировать и ее.

Сварочные электроприемники делятся на однофазные, двухфазные и трехфазные. Однофазными считаются машины включенные на линейное напряжение. Двухфазными считаются машины, имеющие два плеча, подключенные к трем фазам по схеме открытого треугольника. Трехфазными считаются машины имеющие три плеча и подключенные к трем фазам сети и включаемые одновременно. Двухфазные и трехфазные машины при разновременном включении плеч рассматриваются как группы однофазных машин.

Методика расчета сварочных нагрузок предназначена для различных видов машин контактной сварки: точечных, многоточечных, рельефных, шовных и стыковых и может быть распространена на любые электрические нагрузки, характеризующиеся большой частотой и малой продолжительностью включения.

Методика основана на использовании в расчетах продолжительности включения установки, коэффициента загрузки, а так же использовании математического аппарата из раздела теории вероятностей.

#### Методика расчета осветительной нагрузки.

Электрическое освещение создает значительную нагрузку на промышленных предприятиях. Питание электроосвещения в большинстве случаев осуществляется от общих ТП, но линии осветительной сети строят отдельно от силовых линий. Радиальные линии освещения подключают к щиту ТП, а в схемах блок трансформатор - магистраль - в самом начале магистрали силовой сети. От линий получают питание групповые щиты электроосвещения, от которых групповые линии питают по магистральной схеме светильники, причем так, чтобы при отключении одной групповой линии работа цеха не

прерывалась из-за отсутствия освещения. Для этого в цехах с двумя и больше трансформаторами создается перекрестное питание групповых линий.

Существует несколько методик расчета осветительной нагрузки, для разработки САПР выбираем две из них.

Первая методика расчета позволяет получить суммарную мощность осветительных установок цеха по удельной плотности осветительной нагрузки зависящей от типа производства и технических процессов в цехе. Удельная плотность нагрузки является справочной величиной. Эта методика применяется для выбора цеховых КТП.

Вторая методика основана на точечном расчете суммарной мощности цеховых осветительных установок, применяемом для расчета освещения как угодно расположенных поверхностей и при любом расположении источников света. Этот метод применяется при непосредственном проектировании осветительных установок в тех случаях когда известно расположение источников света на плане цеха.

#### Алгоритм расчета трехфазных электрических нагрузок.

Исходными данными для расчета являются:

План цеха, количество и мощность электроприемников, коэффициенты использования и мощности, разбивка по группам однотипных электроприемников по технологическому признаку и коэффициенту использования, наличие технологического резерва, номинальное напряжение.

Последовательность (алгоритм) расчета:

1) В тех случаях, когда в характерную категорию входят электроприемники с продолжительностью включения  $< 100\%$ , то осуществляется пересчет их установленной (номинальной) мощности на ПВ  $100\%$ .

$$P_{уст.ПВ} = P_{уст} \cdot \sqrt{ПВ} \quad (1)$$

2) Определяем среднюю активную мощность для каждой характерной категории.

$$P_{cp} = \sum P_{ном} \cdot K_u ; \quad (2)$$

Где  $P_{ном}$  - Номинальная (паспортная) мощность электроприемника

$K_{и}$  - Коэффициент использования

3) Определяем среднюю реактивную мощность для каждой характерной категории.

$$Q_{cp} = P_{cp} \cdot tg\phi; \quad (3)$$

4) Определяем эффективное число электроприемников по приближенной формуле

$$n_{э} = \frac{2 \sum P_{н}}{P_{н. max}}; \quad (4)$$

Или точной формуле:

$$n_{э} = \frac{(P_{ном})^2}{\sum P_{ном.i}^2}; \quad (5)$$

Если  $N_{э}$  больше фактического кол-ва эл. приемников, то  $N_{э}$  равно фактическому кол-ву электроприемников.

5) Средневзвешенный коэффициент использования характерной категории.

$$K_{и. cp} = \frac{\sum P_{cp}}{\sum P_{ном}}; \quad (6)$$

6) Коэффициент расчетной нагрузки  $K_p$  выбираем исходя из этапа расчета по таблицам 1 и 2.

В тех случаях, когда значение  $K_{и}$  находится между двумя значениями таблицы, то производим выбор, интерполируя  $K_{и}$  и  $N_{э}$ .

Для высоковольтных ЭП и проводников с напряжением больше 1кВ и для шин 6-10кВ  $K_p = 1$ .

7) Расчетная активная нагрузка характерной категории.

$$P_p = K_p \cdot P_{cp}; \quad (7)$$

Где  $K_p$  - определен в шаге 6 алгоритма.

8) Расчетная реактивная мощность характерной категории.

Для низковольтной сети

$$Q_p = K_p \cdot Q_{cp}; \quad (8)$$

Для выбора магистральных шинопроводов и на шинах цеховых трансформаторных подстанций

$$Q_p = 1.1 \cdot Q_{cp}; \quad \text{при } N_{\Sigma} \leq 10 \quad (9)$$

$$Q_p = Q_{cp}; \quad \text{при } N_{\Sigma} > 10 \quad (10)$$

9) Полная расчетная мощность силовой нагрузки

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (11)$$

Алгоритм расчета однофазных электрических нагрузок.

Для расчета однофазных электрических нагрузок исходными данными являются номинальная мощность установки, количество установок, коэффициенты использования и мощности, продолжительность включения, данные о том на линейное или фазное напряжение включена установка, разбивка по фазам или парам фаз.

Последовательность (алгоритм) расчета:

1) Находим номинальные нагрузки для всех электроприемников приведенные к ПВ=100%

Для фазной нагрузки по каждому ЭП

$$P_{ном.ф} = n \cdot S_{ном} \cdot \sqrt{ПВ} \quad (12)$$

Для линейной нагрузки по каждому ЭП

$$P_{ном.л} = S \cdot \sqrt{ПВ} \cdot \cos \varphi \quad (13)$$

2) Общая мощность всех ЭП приведенная к ПВ 100%

$$P_{ном} \Sigma = \Sigma n \cdot P_{ном.ф} + \Sigma n \cdot P_{ном.л} \quad (14)$$

3) Подсчитываем общую нагрузку на фазу и пару фаз

$$P_a \Sigma = \Sigma P_{н.а} \cdot n \quad (15)$$

$$P_{ab} \Sigma = \Sigma P_{н.ab} \cdot n \quad (16)$$

4) Приводим линейную нагрузку к фазной по формулам приведения:

$$P_a = \Sigma P_{ab} \cdot p(ab)_a + \Sigma P_{ca} \cdot p(ca)_a + \Sigma P_{ao} \quad (17)$$

$$P_a = \sum P_{ab} \cdot p(ab)_a + \sum P_{ca} \cdot p(ca)_a + \sum P_{ao} \quad (18)$$

$$P_b = \sum P_{ab} \cdot p(ab)_b + \sum P_{bc} \cdot p(bc)_b + \sum P_{bo} \quad (19)$$

$$P_c = \sum P_{ca} \cdot p(ca)_a + \sum P_{bc} \cdot p(bc)_c + \sum P_{co} \quad (20)$$

$$Q_a = \sum P_{ab} \cdot q(ab)_a + \sum P_{ca} \cdot q(ca)_a + \sum Q_{ao} \quad (21)$$

$$Q_b = \sum P_{ab} \cdot q(ab)_b + \sum P_{bc} \cdot q(bc)_b + \sum Q_{bo} \quad (22)$$

$$Q_b = \sum P_{ab} \cdot q(ab)_b + \sum P_{bc} \cdot q(bc)_b + \sum Q_{bo} \quad (23)$$

$$Q_c = \sum P_{ca} \cdot q(ca)_a + \sum P_{bc} \cdot q(bc)_c + \sum Q_{co} \quad (24)$$

$$P_{cp.a} = \sum K_u \cdot P_{ab} \cdot p(ab)_a + \sum K_u \cdot P_{ca} \cdot p(ca)_a + \sum K_u \cdot P_{ao} \quad (25)$$

$$P_{cp.b} = \sum K_u \cdot P_{ab} \cdot p(ab)_b + \sum K_u \cdot P_{bc} \cdot p(bc)_b + \sum K_u \cdot P_{bo} \quad (26)$$

$$P_{cp.c} = \sum K_u \cdot P_{ca} \cdot p(ca)_a + \sum K_u \cdot P_{bc} \cdot p(bc)_c + \sum K_u \cdot P_{co} \quad (27)$$

$$Q_{cp.a} = \sum K_u \cdot P_{ab} \cdot q(ab)_a + \sum K_u \cdot P_{ca} \cdot q(ca)_a + \sum K_u \cdot P_{ao} \quad (28)$$

$$Q_{cp.b} = \sum K_u \cdot P_{ab} \cdot q(ab)_b + \sum K_u \cdot P_{bc} \cdot q(bc)_b + \sum K_u \cdot P_{bo} \quad (29)$$

$$Q_{cp.c} = \sum K_u \cdot P_{ca} \cdot q(ca)_a + \sum K_u \cdot P_{bc} \cdot q(bc)_c + \sum K_u \cdot P_{co} \quad (30)$$

Где  $p(ab)_a$ ,  $q(ab)_a$ , и т.д. являются коэффициентами приведения которые берем из таблицы 2.21 в зависимости от  $\cos \varphi$  /6. стр. 75/

В тех случаях, когда  $\cos \varphi$  лежит между значениями указанными в таблице, находим его интерполяцией.

5) Находим полную среднюю мощность

$$S_{cp.max} = \sqrt{P_{cp.i}^2 + Q_{cp.i}^2} \quad (31)$$

Где  $i$  – фаза (a,b или c).

По полной мощности находим наиболее загруженную фазу

6) Находим средневзвешенный коэффициент использования

$$K_u.a = P_{cp.a} / P_{a.nom} \sum = P_{cp.a} / (P_{ab} + P_{ca}) / 2 + P_{ao} \quad (32)$$

$$K_u.b = P_{cp.b} / P_{b.nom} \sum = P_{cp.b} / (P_{ba} + P_{bc}) / 2 + P_{bo} \quad (33)$$

$$K_{и.с} = P_{ср.с} / P_{с.ном} \sum = P_{ср.с} / (P_{сa} + P_{сb}) / 2 + P_{сo} \quad (34)$$

7) Находим эффективное число электроприемников

$$N_{э} = \frac{2 \cdot P_{ном} \sum}{3 \cdot P_{ном.мах}} \quad (35)$$

Где  $P_{ном} \sum$  = Сумма номинальных мощностей (итога по исходной таблице  $P_{ном} \cdot N$ )

$P_{ном.мах}$  – Номинальная мощность наибольшего ЭП (из исходной таблицы)

8) Коэффициент расчетной нагрузки  $K_p$  выбираем исходя из этапа расчета по таблицам 1 и 2 /7, с. 6/

9) Находим минимальную и максимальную номинальную мощности для определения неравномерности загрузки.

10) Определяем неравномерность нагрузки

$$H = \frac{P_{ном.мах} - P_{ном.мин}}{P_{ном.юмин}} \cdot 100 \quad (36)$$

11) Исходя из неравномерности загрузки, определяем  $Q_p$  и  $P_p$ .

Если неравномерность нагрузки  $H \leq 15\%$

$$P_p = K_p \cdot (P_{ср.a} + P_{ср.b} + P_{ср.c}) \quad (37)$$

Если  $N_{э} \leq 10$

$$Q_p = K_p \cdot Q_{ср.мах} \quad (38)$$

Где  $Q_{ср.мах}$  –  $Q_{ср}$  наиболее загруженной фазы

Если  $N_{э} > 10$

$$Q_p = 1,1 \cdot K_p \cdot Q_{ср.мах} \quad (39)$$

Если неравномерность нагрузки  $H > 15\%$

$$P_p = 3 \cdot K_p \cdot P_{ср.мах} \quad (40)$$

Где  $P_{ср.мах}$  – Средняя мощность наиболее загруженной фазы

Если  $N_{э} \leq 10$

$$Q_p = K_p \cdot Q_{ср.мах} \quad (41)$$

Где  $Q_{ср.мах}$  –  $Q_{ср}$  наиболее загруженной фазы

Если  $N_{э} > 10$

$$P_p = 3 \cdot K_p \cdot P_{ср.мах} \quad (42)$$

12) Полная мощность

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (43)$$

Алгоритм расчета сварочных электрических нагрузок.

Исходными данными для расчета являются: являются номинальная мощность установки, количество установок, коэффициент использования, продолжительность включения, разбивка по парам фаз. Алгоритм разработан в соответствии с методиками изложенными в следующих источниках: /13, с.64/ и /7/.

Последовательность (алгоритм) расчета:

1) Определяем среднюю мощность каждой машины

$$S_{ср} = K_з \cdot ПВ \cdot S_{ном} \quad (44)$$

Где  $S_{ср}$  - Коэффициент загрузки

ПВ - Продолжительность включения

$S_{ном}$  - Номинальная мощность электроприемника

2) Определяем среднюю мощность каждой пары фаз

$$S_{ср.аб} = \sum_1^i S_{ном.i} \cdot N_i \quad (45)$$

Где  $S_{ном.i}$  - Номинальная мощность электроприемника

$N_i$  - Количество

3) Определяем неравномерность загрузки

$$H = \frac{S_{мах} - S_{мин}}{S_{мин}} \cdot 100 \quad (46)$$

Где  $S_{мах}$  - Максимальная мощность пары фаз

$S_{мин}$  - Минимальная мощность пары фаз

4) Определяем эквивалентную среднюю нагрузку наиболее загруженной фазы или пары фаз



При  $N \leq 15\%$

$$S_{cp} = 3 \cdot S_{cp.max} \quad (47)$$

При  $N > 15\%$

Для каждой из фаз:

$$S_{cp} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{S_{cp.ab}^2 + S_{cp.bc}^2 + S_{cp.ab} \cdot S_{cp.bc}} \quad (48)$$

$$S_{cp} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{S_{cp.bc}^2 + S_{cp.ca}^2 + S_{cp.bc} \cdot S_{cp.ca}} \quad (49)$$

$$S_{cp} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{S_{cp.ca}^2 + S_{cp.ab}^2 + S_{cp.ca} \cdot S_{cp.ab}} \quad (50)$$

5) Определяем среднеквадратичную нагрузку каждой машины

$$S_{cp} = K_3 \cdot \sqrt{ПВ} \cdot S_{ном} \quad (51)$$

6) Определяем среднеквадратичную мощность каждой пары фаз

$$S_{ck} = \sqrt{\left(\sum_1^n S_{cp.i}\right)^2 + \sum_1^n (S_{ck.i}^2 - S_{cp.i}^2)} \quad (52)$$

7) Определяем эквивалентную среднеквадратичную мощность наиболее загруженной фазы.

При  $N < 15\%$

$$S_{p.э} = 3 \cdot S_{ck.max} \quad (53)$$

При  $N > 15\%$

Для каждой из фаз:

$$S_{p.э} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{S_{ck.ab}^2 + S_{ck.bc}^2 + S_{ck.ab} \cdot S_{ck.bc}} \quad (54)$$

$$S_{p.э} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{S_{ck.bc}^2 + S_{ck.ca}^2 + S_{ck.bc} \cdot S_{ck.ca}} \quad (55)$$

$$S_{p.э} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{S_{ck.ca}^2 + S_{ck.ab}^2 + S_{ck.ca} \cdot S_{ck.ab}} \quad (56)$$

Алгоритм расчета осветительной нагрузки.

Алгоритмы расчета строим на основании методик изложенных в /8, с. 260–268/.

Расчет осветительной нагрузки по первому этапу (выбор КТП и магистрального шинпровода) осуществляется следующим образом:

1) Находим номинальную активную мощность нагрузки исходя из удельной плотности нагрузки (редактируемый справочник) и площади цеха.

$$P_{ном} = \alpha \cdot F \quad (57)$$

Где  $\alpha$  - удельная плотность нагрузки, Вт/м

$F$  - площадь цеха, М<sup>2</sup>.

2) Находим среднюю активную и реактивную мощности исходя из коэффициентов использования и мощности.

$$P_{cp} = P_p = K_u \cdot P_{ном} \quad (58)$$

$$Q_{cp} = Q_p = P_{cp} \cdot \operatorname{tg}\phi \quad (59)$$

Расчет осветительной нагрузки по второму этапу осуществляется следующим образом:

1) Пользователь самостоятельно находит число и мощность светильников в цехе, а так же их справочные данные и вносит эти данные в САПР.

2) Находится установленная мощность ламп.

$$P_{уст} = N \cdot P_{ном.л} \quad (60)$$

Где  $N$  - количество ламп.

$P_{ном.л}$  - номинальная мощность одной лампы.

3) рассчитываются осветительные нагрузки цеха

$$P_{po} = P_{уст} \cdot K_u \cdot K_{пра} \quad (61)$$

$$Q_{po} = P_{cp} \cdot \operatorname{tg}\phi \quad (62)$$

Где  $P_{уст}$  - установленная мощность ламп;

$K_u$  - коэффициент использования;

$K_{пра}$  - коэффициент, учитывающий потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре.

Расчет трехфазных электрических нагрузок цеховой сети.

Целью выполнения данного раздела является нахождение расчетной мощности, потребляемой механическим цехом, методом коэффициента расчетной нагрузки по первому этапу.

Исходными данными для расчета являются: номинальная мощность и количество электроприемников, коэффициент использования и коэффициент мощности, определяемые по /6, с. 41/.

Расчет ведем согласно алгоритму описанному в п.2.2.1.

Исходными данными для расчета являются: номинальная мощность и количество электроприемников (согласно заданию), коэффициент использования и коэффициент мощности, определяемые по /6, с. 41/.

Таблица 1 – Исходные данные для расчёта нагрузок

Наименование электроприёмника	Количество ЭП, шт.	$P_{ном}$ , кВт	$K_{и}$	$\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi$
Вертикально-фрезерный	13	17	0,17	0,65/1,17
Горизонтально-расточный	6	28		
Горизонтально-проточный	6	17		
Горизонтально-шлифовальный	2	34		
Горизонтально-фрезерный	13	42		
Токарно-револьверный	8	45		
Токарно-винторезный	5	30		
Радиально-сверлильный	8	24		
Безцентрошлифовальный	2	15		
Резьбонакатный автомат	2	40		
Токарный с ЧПУ	3	32		
Горизонтально-расточный	2	120		
Токарный с ЧПУ	4	48		
Горизонтально-шлифовальный	2	26		
Токарно-винторезный	3	34		
Вертикально-фрезерный	3	44	0,8	0,8/0,75
Вентустанок	2	15		
Вентустанок	3	18		

Продолжение таблицы 1.

Наименование электроприёмника	Количество ЭП, шт.	$P_{ном}$ , кВт	$K_u$	$\cos\phi/tg\phi$
Вентустановка	2	32		
Нагревательная электропечь	3	35	0,8	0,98/0,20
Электротермическая печь	2	20		
Электромасляная ванна	2	36		
Электропечь	2	54		
Термическая электропечь	2	67		
Сварочные шовные (роликовые)	6	125	0,5	0,75/0,88
Точечные стационарные	3	110		
Сварочные точечные машины	3	100		
Сварочные стыковые	3	90		
Сварочные стационарные рельефные	4	110		

Для характерной категории N 1 имеем:

Средние активная и реактивная мощности:

$$P_{cp} = \sum P_{ном} \cdot K_u = 2731 \cdot 0,17 = 464,27 \text{ кВт}$$

$$Q_{cp} = P_{cp} \cdot tg\phi = 464,27 \cdot 1,17 = 543,20 \text{ кВАР}$$

Эффективное число электроприемников по приближенной формуле

$$n_э = \frac{2 \sum P_n}{P_{н.маx}} = \frac{2 \sum 2731}{120} = 46;$$

Средневзвешенный коэффициент использования характерной категории.

$$K_{u.cp} = \frac{\sum P_{cp}}{\sum P_{ном}} = \frac{464,27}{2731} = 0,17;$$

Коэффициент расчетной нагрузки  $K_p=0,75$

Расчетная нагрузки

$$P_p = K_p \cdot P_{cp} = 0,75 \cdot 464,27 = 348,20 \text{ кВт}$$

$$Q_p = K_p \cdot Q_{cp} = 0,75 \cdot 543,20 = 407,20 \text{ кВАР}$$

Таблица 2 – Результаты расчет электрических нагрузок (форма Ф6336–90) для выбора трансформаторов КТП

Исходные данные						Средняя мощность группы ЭП		n <sub>э</sub>	K <sub>р</sub>	Расчетная мощность	
По заданию				По справочным данным		P <sub>ср</sub> , кВт	Q <sub>ср</sub> , квар			P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар
Характерные категории ЭП, подключаемых к узлу питания	Кол-во ЭП n <sub>ф</sub>	Номинальная мощность, кВт		K <sub>и</sub>	cosφ/tgφ			7	8		
		одного ЭП	общая								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вертикально-фрезерный	13	17	221	0,17	0,65/1,17	37,57	43,96				
Горизонтально-расточный	6	28	168			28,56	33,42				
Горизонтально-проточный	6	17	102			17,34	20,29				
Горизонтально-шлифовальный	2	34	68			11,56	13,53				
Горизонтально-фрезерный	13	42	546			92,82	108,6				
Токарно-револьверный	8	45	360			61,2	71,6				
Токарно-винторезный	5	30	150			25,5	29,83				
Радиально-сверлильный	8	24	192			32,64	38,19				
Безцентрошлифовальный	2	15	30			5,1	5,97				
Резьбонакатный автомат	2	40	80			13,6	15,91				
Токарный с ЧПУ	3	32	96			16,32	19,09				
Горизонтально-расточный	2	120	240			40,8	47,74				
Токарный с ЧПУ	4	48	192			32,64	38,19				
Горизонтально-шлифовальный	2	26	52			8,84	10,34				
Токарно-винторезный	3	34	102			17,34	20,29				
Вертикально-фрезерный	3	44	132			22,44	26,25				
<b>Итого</b>	<b>82</b>	<b>15–120</b>	<b>2731</b>	<b>0,17</b>	<b>1,17</b>	<b>464,27</b>	<b>543,20</b>	<b>46</b>	<b>0,75</b>	<b>348,2</b>	<b>407,2</b>

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вентустановка	2	15	30	0,8	0,8/0,75	24	18				
Вентустановка	3	18	54			43,2	32,4				
Вентустановка	2	32	64			51,2	38,4				
<b>Итого</b>	<b>7</b>	<b>15–32</b>	<b>148</b>	<b>0,8</b>	<b>0,75</b>	<b>118,4</b>	<b>88,8</b>	<b>7</b>	<b>0,91</b>	<b>107,7</b>	<b>80,8</b>
Нагревательная электропечь	3	35	105	0,8	0,98/0,203	84	17,05				
Электротермическая печь	2	20	40			32	6,50				
Электромасляная ванна	2	36	72			57,6	11,69				
Электропечь	2	54	108			86,4	17,54				
Термическая электропечь	2	67	134			107,2	21,76				
<b>Итого</b>	<b>11</b>	<b>20–67</b>	<b>459</b>	<b>0,8</b>	<b>0,203</b>	<b>367,2</b>	<b>74,54</b>	<b>11</b>	<b>0,9</b>	<b>330,5</b>	<b>67,1</b>
Сварочные шовные (роликовые)	6	125	750	0,5	0,75/0,882	375	330,75				
Точечные стационарные	3	110	330			165	145,53				
Сварочные точечные машины	3	100	300			150	132,3				
Сварочные стыковые	3	90	270			135	119,07				
Сварочные стационар. Рельефные	4	110	440			220	194,04				
<b>Итого</b>	<b>19</b>	<b>90–125</b>	<b>2090</b>	<b>0,5</b>	<b>0,882</b>	<b>1045</b>	<b>921,69</b>	<b>19</b>	<b>0,85</b>	<b>888,3</b>	<b>783,4</b>
<b>Общий итог</b>										<b>1674,7</b>	<b>1338,7</b>

## Расчет однофазных электрических нагрузок.

По условиям задачи заданы следующие данные:

Электроприемники включенные на фазное напряжение:

- 1) Нагревательные печи  $N=2$ ,  $P_{ном}=20$  кВт,  $K_{и}=0.50$ ,  $\cos \varphi =0.1$ ,  $ПВ= 1$ .

Электроприемники включенные на линейное напряжение:

- 1) Сварочные аппараты  $N=2$ ,  $S_{ном}=75$  кВАР,  $K_{и}=0.25$ ,  $\cos \varphi =0.50$ ,  $ПВ= 0.40$ .  
2) Сварочные аппараты  $N=2$ ,  $S_{ном}=100$  кВАР,  $K_{и}=0.40$ ,  $\cos \varphi =0.40$ ,  $ПВ= 0.40$ .  
3) Сварочные машины  $N=3$ ,  $S_{ном}=500$  кВАР,  $K_{и}=0.35$ ,  $\cos \varphi =0.40$ ,  $ПВ= 0.015$ .

Расчеты ведем в соответствии с алгоритмом приведенным в п.2.2.2.

Решение:

- 1) Определим номинальную приведенную к ПВ 100%

Для электроприемников включенных на фазное напряжение

$$P_{ном1\Sigma}=2\cdot 20=40 \text{ кВт}$$

Для электроприемников включенных на линейное напряжение

$$P_{ном}=S_{пасп} \cdot (\sqrt{ПВ}) \cdot \cos \varphi$$

$$P_{ном2\Sigma}=500 \cdot (\sqrt{0.015}) \cdot 0.4=24.49 \text{ кВт}$$

$$P_{ном3\Sigma}=75 \cdot (\sqrt{0.4}) \cdot 0.5=23.71 \text{ кВт}$$

$$P_{ном4\Sigma}=100 \cdot (\sqrt{0.4}) \cdot 0.4=25.29 \text{ кВт}$$

$$P_{ном\Sigma}=2\cdot 20+3\cdot 24.49+2\cdot 23.71+2\cdot 25.29=211.5 \text{ кВт}$$

- 2) Распределяем нагрузку по фазам или парам фаз

По фазам

$$В \quad P_{во}=1\cdot 20=20 \text{ кВт}$$

$$С \quad P_{с0}=1\cdot 20\cdot 20 \text{ кВт}$$

По парам фаз

$$АВ \quad P_{аб}=1\cdot 24.5+1\cdot 23.7+1\cdot 25.3=73.5 \text{ кВт}$$

$$ВС \quad P_{вс}=1\cdot 24.5+1\cdot 23.7=48.2 \text{ кВт}$$

$$СА \quad P_{са}=1\cdot 24.5+1\cdot 25.3=49.8 \text{ кВт}$$

- 3) Приводим линейную нагрузку к фазной по формулам приведения

$$P_a= 24,49\cdot 1,17 + 24,49\cdot -0,17 + 23,7\cdot 1 + 25,29\cdot 1,17 + 25,29\cdot -0,17 \\ = 73.52 \text{ кВт}$$

$$P_b = 20 + 24,49 \cdot -0,17 + 24,49 \cdot 1,17 + 23,71 \cdot 0 + 23,71 \cdot 1 + 25,29 \cdot -0,17$$

$$= 63,91 \text{ кВт}$$

$$P_c = 20 + 24,49 \cdot -0,17 + 24,49 \cdot -0,17 + 23,71 \cdot 0 + 25,29 \cdot -0,17$$

$$= 7,37 \text{ кВт}$$

$$Q_a = 24,49 \cdot 0,86 + 24,49 \cdot 1,44 + 23,71 \cdot 0,58 + 25,29 \cdot 0,86 + 25,29 \cdot 1,44$$

$$= 128,29 \text{ кВАР}$$

$$Q_b = 20 + 24,49 \cdot 1,44 + 24,49 \cdot 0,86 + 23,71 \cdot 1,16 + 23,71 \cdot 0,58 + 25,29 \cdot 1,44$$

$$= 154,03 \text{ кВАР}$$

$$Q_c = 20 + 24,49 \cdot 1,44 + 24,49 \cdot 1,44 + 23,71 \cdot 1,16 + 25,29 \cdot 1,44$$

$$= 154,48 \text{ кВАР}$$

$$P_{сра} = 0,35 \cdot 1 \cdot 24,49 \cdot 1,17 + 0,35 \cdot 1 \cdot 24,49 \cdot -0,17 + 0,25 \cdot 1 \cdot 23,71 \cdot 1 + 0,4 \cdot 1 \cdot 25,29 \cdot 1,17 + 0,4 \cdot 1 \cdot 25,29 \cdot -0,17 = 24,6 \text{ кВт}$$

$$P_{срб} = 0,5 \cdot 1 \cdot 20 + 0,35 \cdot 1 \cdot 24,49 \cdot -0,17 + 0,35 \cdot 1 \cdot 24,49 \cdot 1,17 + 0,25 \cdot 1 \cdot 23,71 \cdot 0 + 0,25 \cdot 1 \cdot 23,71 \cdot 1 + 0,4 \cdot 1 \cdot 25,29 \cdot -0,17 = 22,78 \text{ кВт}$$

$$P_{срс} = 0,5 \cdot 1 \cdot 20 + 0,35 \cdot 1 \cdot 24,49 \cdot -0,17 + 0,35 \cdot 1 \cdot 24,49 \cdot -0,17 + 0,25 \cdot 1 \cdot 23,71 \cdot 0 + 0,4 \cdot 1 \cdot 25,29 \cdot -0,17 = 5,36 \text{ кВт}$$

$$Q_{сра} = 0,35 \cdot 1 \cdot 24,49 \cdot 0,86 + 0,35 \cdot 1 \cdot 24,49 \cdot 1,44 + 0,25 \cdot 1 \cdot 23,71 \cdot 0,58 + 0,4 \cdot 1 \cdot 25,29 \cdot 0,86 + 0,4 \cdot 1 \cdot 25,29 \cdot 1,44 = 46,43 \text{ кВАР}$$

$$Q_{срб} = 0,5 \cdot 1 \cdot 20 + 0,35 \cdot 1 \cdot 24,49 \cdot 1,44 + 0,35 \cdot 1 \cdot 24,49 \cdot 0,86 + 0,25 \cdot 1 \cdot 23,71 \cdot 1,16 + 0,25 \cdot 1 \cdot 23,71 \cdot 0,58 + 0,4 \cdot 1 \cdot 25,29 \cdot 1,44 = 54,6 \text{ кВАР}$$

$$Q_{срс} = 0,5 \cdot 1 \cdot 20 + 0,35 \cdot 1 \cdot 24,49 \cdot 1,44 + 0,35 \cdot 1 \cdot 24,49 \cdot 1,44 + 0,25 \cdot 1 \cdot 23,71 \cdot 1,16 + 0,4 \cdot 1 \cdot 25,29 \cdot 1,44 = 56,2 \text{ кВАР}$$

4) Находим наиболее загруженную по полной мощности:

$$S_{срА} = 52,55 \text{ кВА}$$

$$S_{срВ} = 59,16 \text{ кВА} \quad \text{это фаза В}$$

$$S_{срС} = 56,39 \text{ кВА}$$

5) Определяем  $K_i$ ,  $\cos \varphi$  наиболее загруженной фазы

$$K_{i.b} = 22,78 / ((73,51 + 48,21) / 2 + 20) = 0,28$$

$$N_{\Sigma} = 2 \cdot (20 + 73,51 + 48,21 + 49,79) / 3 \cdot (25,29) = 6$$

6) Определяем неравномерность нагрузки



$$H=(P_{\text{ном. max}}-P_{\text{ном. min}})/P_{\text{ном. min}} \cdot 100$$

$$H=(25.3-20)/20 \cdot 100=26\%$$

7) Коэффициент расчетной нагрузки  $K_p$  выбираем исходя из этапа расчета по таблицам 1 и 2 /7, с. 6/.

$$K_p=0,95$$

При неравномерности нагрузки  $>15\%$  расчетные мощности равны:

$$P_p=3K_p \cdot P_{\text{ср. б}}=65,1 \text{ кВт}$$

$$Q_p=3K_p \cdot P_{\text{ср. б}}=52 \text{ кВАр}$$

$$S_p = 83,3 \text{ кВА}$$

Расчет электрических нагрузок контактной сварки.

По условиям задачи заданы следующие данные:

- 1) Точечная сварка  $N=4$ ,  $S_{\text{ном}}=100 \text{ кВАр}$ ,  $ПВ=0.05$ ,  $K_3=1$ .
- 2) Точечная сварка  $N=5$ ,  $S_{\text{ном}}=150 \text{ кВАр}$ ,  $ПВ=0.02$ ,  $K_3=1$ .
- 3) Точечная сварка  $N=8$ ,  $S_{\text{ном}}=75 \text{ кВАр}$ ,  $ПВ=0.05$ ,  $K_3=1$ .
- 4) Точечная сварка  $N=3$ ,  $S_{\text{ном}}=40 \text{ кВАр}$ ,  $ПВ=0.03$ ,  $K_3=1$ .

Расчеты ведем в соответствии с алгоритмом приведенным в п.2.2.3.

Результаты расчета:

- 1) Распределив машины по возможности равномерно по парам фаз, получили следующие мощности:

$$P_{.AB} = 140; \quad P_{.BC} = 180; \quad P_{.CA} = 180$$

- 2) Определяем среднюю мощность каждой машины:

$$S_{\text{ср}} = K_3 \cdot ПВ \cdot S_{\text{ном}}$$

$$S_{\text{ср}1}=1 \cdot 0.02 \cdot 100=3 \text{ кВА}$$

$$S_{\text{ср}2}=1 \cdot 0.05 \cdot 100=5 \text{ кВА}$$

$$S_{\text{ср}3}=1 \cdot 0.05 \cdot 100=3,75 \text{ кВА}$$

$$S_{\text{ср}4}=1 \cdot 0.03 \cdot 100=1,2 \text{ кВА}$$

- 3) Определяем среднюю мощность по парам фаз:

$$S_{\text{ср. AB}}=2 \cdot 3+1 \cdot 5+2 \cdot 1.2+2 \cdot 3.75=20,9 \text{ кВА}$$

$$S_{\text{ср. BC}}=2 \cdot 3+1 \cdot 5+3 \cdot 3.75=22,25 \text{ кВА}$$

$S_{cp.CA}=1\cdot3+2\cdot5+1\cdot1.2+3\cdot3.75=25,45$  кВА (наиболее загруженная пара фаз)

4) Определяем неравномерность загрузки

$$H=(630-615)/615\cdot100=2,4\% <15\%$$

5) Определяем среднюю мощность приведенную к трехфазному эквиваленту:

$$S_{cp}=3\cdot25.45=76,35 \text{ кВА}$$

6) Находим среднеквадратичную мощность каждой машины:

$$S_{sk.1}=1\cdot\sqrt{0.02}\cdot150=21,21 \text{ кВА}$$

$$S_{sk.2}=1\cdot\sqrt{0.05}\cdot100=22,36 \text{ кВА}$$

$$S_{sk.3}=1\cdot\sqrt{0.05}\cdot75=16,77 \text{ кВА}$$

$$S_{sk.4}=1\cdot\sqrt{0.03}\cdot40=6,92 \text{ кВА}$$

7) Определяем среднеквадратичную мощность наиболее загруженной пары фаз:

$$S_{sk}=\sqrt{(25.45^2+(21.75^2-3^2))+2\cdot(22.5^2-5^2)+(7^2-1.2^2)+3(16.87^2-3.75^2))}=54,3$$

8) Определяем расчетную нагрузку при неравномерности  $< 15\%$ :

$$S_{pэ}=3\cdot54.3=162,9 \text{ кВА}$$

Расчет электрического освещения.

Расчет освещения по первому этапу:

По справочным данным удельная плотность нагрузки равна 9,85 Вт/м

Площадь цеха равна 3837 М<sup>2</sup>.

$$P_p=10,29\cdot3837=39,5 \text{ кВт};$$

$$Q_{po}=P_p\cdot\text{tg}\varphi_0=39,5\cdot0,33=13,0 \text{ кВАР}.$$

Расчет освещения по второму этапу:

Для освещения цеха приняты ртутно-кварцевые лампы с исправленной цветностью типа ДРЛ мощностью 700 Вт (по результатам расчётов, приведённых в /8, с. 260–263/).

Расчетная нагрузка  $P_{po}$  питающей осветительной сети определяется по формуле /8, с. 271, формула 10.8/:

$$P_{po} = P_{уст} \cdot K_c \cdot K_{ПРА}, \quad (63)$$

где  $P_{уст}$  – установленная мощность ламп;

$K_c$  – коэффициент спроса;

$K_{ПРА}$  – коэффициент, учитывающий потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре.

$K_c = 0,95$ ;  $K_{ПРА} = 1,1$  для ламп ДРЛ. Согласно /8, с. 271/:

Для определения установленной мощности ламп необходимо найти их количество, которое зависит от размещения светильников.

Размещение светильников в плане и в разрезе помещения определяется следующими размерами:

$H$  – высотой помещения;

$h_c$  – расстоянием светильника от перекрытия;

$h_{п} = H - h_c$  – высотой светильника над полом;

$h_p$  – высотой расчетной поверхности над полом;

$h = h_{п} - h_p$  – расчетной высотой;

$L$  – расстоянием между соседними светильниками или рядами ламп;

$l$  – расстоянием от крайних светильников до стены.

Основное требование при выборе расположения светильников заключается в доступности их при обслуживании. Кроме того, размещение светильников определяется условием экономичности. Важное значение имеет отношение расстояния между светильниками или рядами светильников к расчетной высоте  $\lambda = L/h$ , уменьшение его приводит к удорожанию осветительной установки и усложнению ее обслуживания, а чрезмерное увеличение приводит к резкой неравномерности освещения и к возрастанию расходов энергии.

Принято, что высота помещения составляет 10 м, расстояние светильника от перекрытия – 1 м, а высота рабочих поверхностей над полом – 1 м. Лампы устанавливаются в светильниках РСПО5/ГОЗ. Для принятого светильника, имеющего глубокую кривую силы свечения, по /8, с. 260, таблица 10.4/ определено значение  $\lambda = 1$ .

Находим  $h$  /8, с. 260/:

$$h = H - h_p - h_c, \quad (64)$$

$$h = 10 - 1 - 1 = 8 \text{ м.}$$

$$\text{Тогда } L = \lambda \cdot h = 1 \cdot 8 = 8 \text{ м.}$$

В соответствии с  $L=8$  м выполнено размещение светильников в цехе, которое показано на рисунке 1.

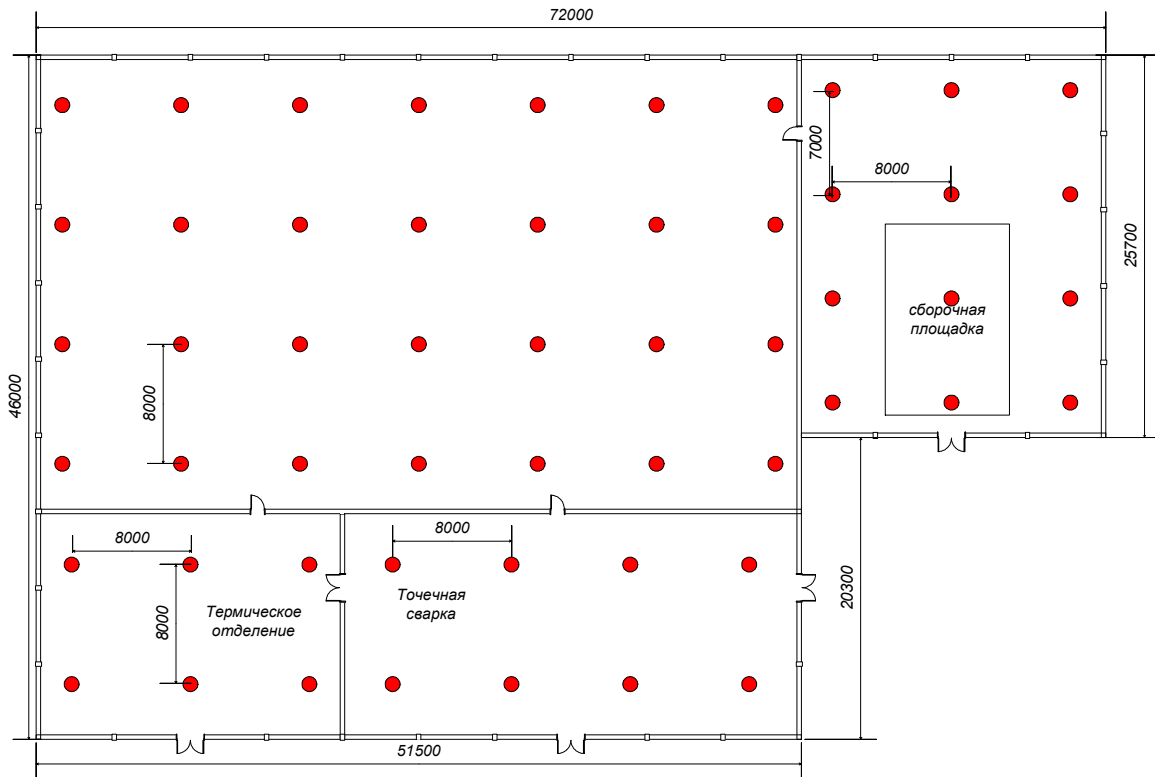


Рисунок – План размещения светильников в цехе

Общее число светильников:

$$N = 7 \cdot 4 + 3 \cdot 2 + 4 \cdot 2 + 3 \cdot 4 = 54.$$

Установленная мощность ламп:

$$P_{уст} = N \cdot P_{ном \text{ л}},$$

$$P_{уст} = 54 \cdot 0,7 = 37,8 \text{ кВт.}$$

По формулам (12) и (2) рассчитываются осветительные нагрузки цеха:

$$P_{po} = 37,8 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 39,5 \text{ кВт};$$

$$Q_{po} = P_{po} \cdot \text{tg} \varphi_0 = 39,5 \cdot 0,33 = 13,0 \text{ кВАР.}$$

## Пример выполнения комплексного задания

### 1. Определение расчетной нагрузки

Расчётная нагрузка на шинах низшего напряжения ТП-1 равна:

активная  $P_p = 851$  кВт;

реактивная  $Q_p = 722$  квар;

полная  $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{851^2 + 722^2} = 1117$  кВА

По величине полной расчётной нагрузки  $S_p = 1117$ кВА намечаем к установке в ТП-1 два тр-ра мощностью по 1000 кВА каждый.

В нормальном режиме т-ры будут работать с коэффициентом загрузки:

$$K_z = \frac{S_p}{2 \cdot S_{шт}} = \frac{1117}{2 \cdot 1000} = 0,56.$$

Загрузка тр-ров в послеаварийном режиме (при выходе из строя одного из рабочих тр-ров):

$$K_{зав} = \frac{S_p}{S_{шт}} = \frac{1117}{1000} = 1,12$$

Предварительный выбор числа и мощности тр-ров остальных цеховых ТП аналогичен и сведен в таблицу 1.

*Таблица 1.*

№ п/п	Наим. п/ст.	Потребители электроэнергии	Расчётная нагр.			К-во тр-ров	Мощн. тр-ров	Загр. тр. в норм. реж.	Загр. тр. в авар. реж.
			$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА				
1	ТП-1	Цех № 1,2,3,4	851	722	1117	2	1000	0,56	1,12
2	ТП-2	Цех № 7,8,12	1832	1380	2293	2	1600	0,7	1,4
3	ТП-3	Цех № 5,6,9,14,15	1414	1255	1890	2	1600	0,59	1,18
4	ТП-4	Цех № 10,11,22,21,13,18	934	883	1286	2	1000	0,64	1,3
5	ТП-5	Цех № 17	1381	1020	1717	2	1600	0,54	1,08
6	ТП-6	Цех № 16,20	2192	1709	2778	2	2500	0,56	1,11
7	ТП-7	Цех № 19,23,26	2344	984	2543	2	1600	0,79	1,58
8	ТП-8	Цех № 24,25	1347	392	1585	2	1000	0,77	1,54

## 2. Выбор мощности цеховых ТП

Расчётная нагрузка на шинах низкого напряжения тр-ров ТП-1 составляет:  $P_p = 851$  кВт;  $Q_p = 722$  квар.

Необходимая мощность компенсирующих устройств со стороны низшего напряжения тр-ров ТП-1:

$$Q_{ку} = P_p (tg\varphi - tg\varphi_n) = 851(0,85 - 0,33) = 442 \text{ квар},$$

$$\text{где } tg\varphi = \frac{Q_p}{P_p} = \frac{722}{851} = 0,85 - \text{соотв.нормативному значению } \cos\varphi;$$

$$tg\varphi_n = 0,33 - \text{соотв.нормативному значению } \cos\varphi_n, \text{ равному } 0,95.$$

Выбираем компенсирующее устройство типа ККУ-0,38-Ш, мощностью 150 квар. Следовательно,  $Q'_{ку} = 3 \cdot 150 = 450$  квар.

Тогда некомпенсированная реактивная мощность на стороне низшего напряжения тр-ров ТП-1 составит:  $Q = Q_p - Q'_{ку} = 722 - 450 = 272$  квар.

Потери активной мощности в компенсирующих устройствах:

$$\Delta P_{ку} = P_{уд} \cdot Q'_{ку} = 0,002 \cdot 450 = 0,9 \text{ кВт},$$

где  $P_{уд}$  - удельные потери активной мощности в статических конденсат., кВт/квар.

Таким образом, величину  $\Delta P_{ку}$  ввиду её малости в расчётах для упрощения можно не учитывать.

Полная расчётная мощности с учётом компенсации определяется:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{851^2 + 722^2} = 893 \text{ кВА}$$

Выбираем к установке в ТП-1 два тр-ра мощностью по 630 кВА каждый:

$$K_s = \frac{S_p}{2 \cdot S_{шт}} = \frac{893}{2 \cdot 630} = 0,71;$$

$$K_{зав} = \frac{S_p}{S_{шт}} = \frac{893}{630} = 1,4$$

Расчёт для остальных ТП проводим аналогично и сводим в табл. 2.

Таблица 2.

	Наим. п/ст.	Потребители электроэнергии	Расчётная нагр.			К-во тр-ров	Мощн. тр-ров	Загр. тр. норм. реж.	Загр. тр. в авар. реж.	Некомп. мощ-ть, квар
			P, кВт	Q, квар	S, кВА					
1	ТП-1	Цех № 1,2,3,4	851	272	893	2	630	0,71	1,4	272
2	ТП-2	Цех № 7,8,12	1832	630	1937	2	1600	0,6	1,2	630
3	ТП-3	Цех № 5,6,9,14,15	1414	455	1485	2	1600	0,46	0,92	455
4	ТП-4	Цех № 10,11,22,21,13,18	934	283	976	2	1000	0,49	0,98	283
5	ТП-5	Цех № 17	1381	420	1443	2	1000	0,72	1,44	420
6	ТП-6	Цех № 16,20	2192	749	2316	2	1600	0,72	1,44	749
7	ТП-7	Цех № 19,23,26	2344	824	2481	2	2500	0,5	1,0	824
8	ТП-8	Цех № 24,25	1478	392	1529	2	1600	0,48	0,96	-

Анализируя величины и размещение электрических нагрузок цехов по территории завода и учитывая категории потребителей по степени бесперебойности питания, выбираем для системы внутреннего электроснабжения радиально-магистральную схему с резервированием. Распределительные устройства цехов, имеющие потребителей выше 1000 В, питаются по радиальной схеме с резервированием от шин ГПП. Распределительная сеть выше 1000 В по территории завода выполняется кабельными линиями, проложенными в траншеях. Намечаем варианты для выбора рационального напряжения распределительных сетей схемы внутреннего электроснабжения.

#### Вариант 1.

Электроэнергия распределяется внутри завода на напряжении 6 кВ.

#### Вариант 2.

Электроэнергия распределяется внутри завода на напряжении 10 кВ.

#### Вариант 3.

Электроэнергия распределяется внутри завода на напряжении 20 кВ.

#### Вариант 4.

Электроэнергия распределяется внутри завода на напряжении 6 и 10 кВ совместно.

#### Вариант 5.

Электроэнергия распределяется внутри завода на напряжении 6 и 20 кВ совместно.

### 3. Определение расчётных нагрузок линий сети 6÷20 кВ

Расчётные нагрузки распределительной сети 6÷20 кВ определяются по величинам расчётных нагрузок на шинах низшего напряжения ТП или на шинах РУ с учётом потерь мощности в трансформаторах и компенсации реактивной мощности на шинах РУ.

Потери активной и реактивной мощности в понизительных трансформаторах с высшим напряжением 6÷20 кВ определяются в зависимости от действительной (расчётной) нагрузки ( $S_p$ ):

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_T &= \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \left( \frac{S_p}{S_{nm}} \right)^2; \\ \Delta Q_T &= \frac{I_{xx} \%}{100} S_{nm} + \frac{U_{кз} \%}{100} S_{nm} \end{aligned} \right\} \text{ для 1 тр-ра}$$

Расчётная полная нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП-1  $S_p = 893$  кВА. Расчётная нагрузка на шинах 0,4 кВ одного тр-ра 630 кВА.  $\frac{1}{2} S_p = 446,5$  кВА.

Потери активной и реактивной мощности : в одном трансформаторе 630 кВА:

$$\Delta P_T = 2,45 + 6,3 \left( \frac{446,5}{630} \right)^2 = 5,6 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = \frac{1,97 \cdot 630}{100} + \frac{6,5 \cdot 630}{100} = 53,4 \text{ квар.}$$

В двух тр-рах 630 кВА (при раздельной работе)

$$\Delta P_{2T} = 2 \cdot \Delta P_T = 2 \cdot 5,6 = 11,2 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{2T} = 2 \cdot \Delta Q_T = 2 \cdot 53,4 = 106,8 \text{ квар.}$$

Ввиду отсутствия данных, потери мощности в трансформаторах с высшим напряжением 20 кВ приняты как для трансформаторов с высшим напряжением 6÷10 кВТ.

По остальным трансформаторным п/ст, определением потерь в трансформаторах аналогичны и сведены в табл. 3.



Таблица 3

Вар.	Наим. п/ст	Число и мощн. тр-ров	Расч.полн.на гр. $S_p$ , кВА	Потери акт.мощ., $2\Delta P_T$ , кВт	Потери реакт.мощ., $2\Delta Q_T$ , квар
1, 2, 3 (тр-ры 6÷20/0,4 кВ)	ТП-1	2 x 630	893	11,2	106,8
	ТП-2	2 x 1600	1937	19,3	240
	ТП-3	2 x 1600	1485	14	240
	ТП-4	2 x 1000	976	10,4	142
	ТП-5	2 x 1000	1443	17	142
	ТП-6	2 x 1600	2316	25	240
	ТП-7	2 x 2500	2481	20,4	325
	ТП-8	2 x 1600	1529	14	240

Определяем расчётные нагрузки линий распределительной сети 6÷20 кВ (по вар.).

Линия № 1 (Л-1, вариант 1,  $U_n=6$  кВ).

Линия Л-1 питает ТП-3 от РУ-1 по двум кабелям: расчётная нагрузка Л-1 – это расчётная нагрузка со стороны высшего напряжения тр-ров ТП-3:

$$P'_p = P_p + \Delta P_{2T} = 1414 + 14 = 1428 \text{ кВт};$$

$$Q'_p = Q_p + \Delta Q_{2T} = 455 + 240 = 695 \text{ квар},$$

где  $P_p, Q_p$  - расчётные нагрузки на шинах низшего напряжения ТП-3.

Потребляемая мощность компенсирующих устройств со стороны высшего напряжения тр-ров ТП-3:

$$Q_{ky} = P_p (tg\varphi - tg\varphi_n) = 851(0,85 - 0,33) = 442 \text{ квар},$$

$$tg\varphi = \frac{Q'_p}{P'_p} = \frac{695}{1428} = 0,49, \text{ где } tg\varphi_n = 0,33 \text{ – соотв. нормативному значению}$$

коэффициента мощности  $cos\varphi_n$ , равному 0,95.

Для ТП-3, не имеющей шин со стороны высшего напряжения тр-ров и территор.совмещенной с РУ-1, не имеет смысла устанавливать компенсирующие устройства на стороне выше 1000 В при  $Q_{ky}=230$  квар.

Следовательно, полная расчётная нагрузка линии:

$$S'_p = \sqrt{(P'_p)^2 + (Q'_p)^2} = \sqrt{1428^2 + 695^2} = 1588 \text{ кВА}$$

Расчётный ток в линии:

$$I'_p = \frac{S'_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1588}{\sqrt{3} \cdot 6} = 145 \text{ А}$$

Линия № 2 (Л-2, вариант 1,  $U_n=6$  кВ).

Линия Л-2 питает РУ-1 от ГПП. Расчётная нагрузка Л-2 без учёта компенсации реактивной мощности со стороны 6 кВ (на шинах РУ-1):

$$P''_p = P'_p + P_p = 1428 + 1465 = 2893 \text{ кВт};$$

$$Q''_p = Q'_p + Q_p = 695 + 1352 = 2047 \text{ квар},$$

где  $P_p, Q_p$  - расчётные нагрузки на шинах РУ-1, создаваемых приемниками 6 кВ цехов № 14 и 15.

Необходимая мощность компенсирующих устройств на шинах РУ-1:

$$Q_{\text{ку}} = P''_p (tg\varphi - tg\varphi_n) = 2893(0,71 - 0,93) = 1100 \text{ квар},$$

$$tg\varphi = \frac{Q''_p}{P''_p} = \frac{2047}{2893} = 0,71 - \text{соотв. средневзв. естеств. } \cos\varphi_n=0,82, tg\varphi_n=0,33$$

– соотв.  $\cos\varphi_n$ , равному 0,95.

Выбираем две ячейки конденсаторов мощностью по 500 квар каждая типа КУ-6-П, т.е. общая мощность компенсирующих устройств равна:

$$Q'_{\text{ку}} = 2 \times 500 = 1000 \text{ квар}.$$

Потери активной мощности в конденсаторах ввиду их малости не учитываем.

Некомпенсированная реактивная мощность на шинах РУ-1 составит:

$$Q = Q''_p - Q'_{\text{ку}} = 2047 - 1000 = 1047 \text{ квар}.$$

Тогда

$$S_p = \sqrt{(P'_p)^2 + Q_p^2} = \sqrt{2893^2 + 1047^2} = 3077 \text{ кВА}$$

Расчётный ток в линии:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{3077}{1,73 \cdot 6} = 296 \text{ А}$$

Аналогично выполняется расчёт для линий варианта 1 и всех линий вариантов 2-5, этот расчёт сведен в табл. 4.

Таблица 4.

Вариант	Номер линии	Назначение линии	Потребители электроэнергии, № цеха	Длина линии, км	Расчётная мощность		cosφ/tgφ	Потребл. мощн. комп. устр., Q <sub>кв</sub> , квар	Кол-во и мощн. ячеек конд., шт. и квар	Некомпенсир.реакт.мощн., Q, варр	Полная расчёт.мощн.линии, S <sub>p</sub> , кВА	Расчётный ток линии, I <sub>p</sub> , А
					P' <sub>p</sub> (P'' <sub>p</sub> ), кВт	Q' <sub>p</sub> (Q'' <sub>p</sub> ), квар						
1 вариант ( 6 кВ)	Л-1	ТП3 РУ-1	5,6,9,14,15	0,02	1428	695	$\frac{0,89}{0,49}$	230	-	695	1588	145
	Л-2	РУ-1 ГПП	5,6,9,14,15	0,23	2893	2047	$\frac{0,82}{0,71}$	1100	2x500	1047	3077	296
	Л-3	ТП-4 РУ-2	10,11,21,22,13	0,02	944,4	425	$\frac{0,91}{0,45}$	113	-	425	1035	99,5
	Л-4	РУ-2 ГПП	10,11,21,22,13	0,08	5623	3059	$\frac{0,88}{0,54}$	1181	2x500	2059	5988	576
	Л-5	ТП-6 РУ-3	16, 20	0,02	2217	989	$\frac{0,91}{0,45}$	266	-	989	2333	215
	Л-6	РУ-3 ГПП	16, 20	0,35	6156	3234	$\frac{0,87}{0,52}$	1170	2x500	2234	6550	630
	Л-7	ТП-1 ТП-2	1, 2, 3, 4	0,29	162	379	$\frac{0,92}{0,44}$	95	-	379	942	91
	Л-8	ТП-2 ГПП	1, 2, 3, 4, 7, 8	0,27	2713	1249	$\frac{0,91}{0,46}$	352	1x500	749	2814	270
	Л-9	РУ-2 ТП-5	17, 24, 25, осв.	0,28	2759	1194	$\frac{0,92}{0,43}$	246	-	1194	3006	288
	Л-10	ТП-5 ТП-8	24, 25, освещ.	0,29	1492	632	$\frac{0,92}{0,42}$	134	-	632	1621	156
	Л-11	РУ-3 ТП-7	19, 23, 26	0,38	2364	1064	$\frac{0,91}{0,45}$	283	-	1064	2592	249

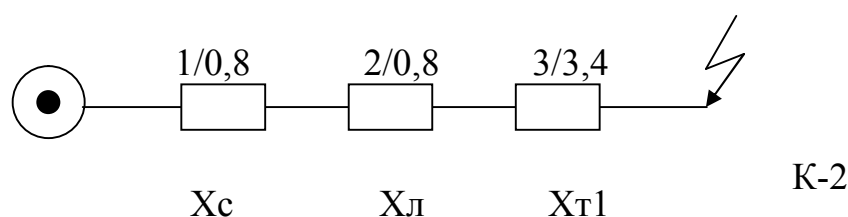
#### 4. Выбор выключателей конца питающих линий и линий, отходящих от ГПП (ГРП)

Предварительный выбор выключателей производится по  $U_n$ ,  $I_{н дл}$  и  $S_{н откл.}$ , при этом отключающая способность всех выключателей (для одного из вариантов) будет одна и та же, номинальный ток – различен.

а) Электроснабжение завода на напряжении 20 кВ.

Схема замещения приведена на рис.1.

$S_c=600$  МВА



$S_c=600$  МВА

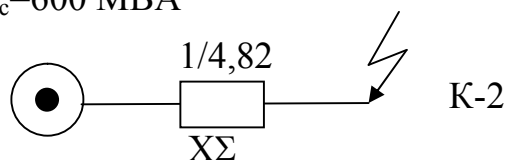


Рис. 1. Схема замещения. Точка К-2 (электроснабжение завода на  $U=20$  кВ)

Исходные данные:  $S_b=S_c=600$  МВА;  $X_c=0,8$ .

Суммарное сопротивление от источника питания до точки короткого замыкания (К-2) в относительных базисных единицах составляет:

$$x_\Sigma = x_c + x_T + x_l = 0,8 + 1,61 + 24 = 4,81,$$

где  $x_T = 1,61$  – сопрот.трехобмоточного трансформатора п/ст энергосистемы в относительных базисных единицах;

$$x_l = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_\sigma}{U_n} = 0,4 \cdot 4 \cdot \frac{600}{20^2} = 2,4,$$

где  $x_0 = 0,4$  Ом/км – индуктивное сопротивление воздушных линий ( 1 км)

Мощность, отключаемая выключателями:

$$S_{\text{роткл.}} = \frac{S_c}{x_\Sigma} = \frac{600}{4,81} = 124,5 \text{ МВА.}$$

Выбираем предварительно для В2, В3, В4 и линий, отходящих от шин ГВП, выключатель ВМП-20 с номин. и расчётными данными:

$$U_{\text{н уст.}} = 20 \text{ кВ}; \quad U_{\text{н}} = 20 \text{ кВ};$$

$$I_{\text{н дл}} = 600 \text{ А}; \quad I_{\text{мак раб}} = 512 \text{ А};$$

$$S_{\text{н отк.}} = 600 \text{ МВ} \cdot \text{А}; \quad S_{\text{рас отк.}} = 124,5 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

б) Электроснабжение завода на напряжении  $U = 35/10$  и  $35/6$  кВ.

Схема замещения приведена на рис.1.2.

$$x_\Sigma = x_c + x_T + x_L + x_{T1} = 0,8 + 1,61 + 0,79 + 3 = 6,2, ,$$

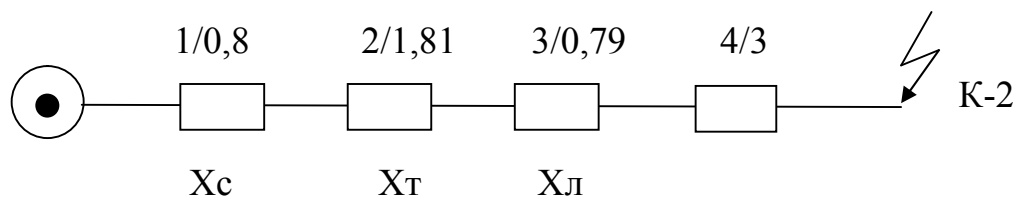
где  $x_{T1}$  - сопротивление тр-ра ГПП в относительных и базисных единицах:

$$x_{T1} = \frac{U_{\text{кз}} \%}{100} \cdot \frac{S_\sigma}{S_{\text{нт}}} = \frac{8 \cdot 600}{100 \cdot 16} = 3$$

Мощность, отключаемая выключателями:

$$S_{\text{роткл.}} = \frac{S_c}{x_\Sigma} = \frac{600}{6,2} \approx 97 \text{ МВА.}$$

$$S_c = 600 \text{ МВА}$$



$$S_c = 600 \text{ МВА}$$

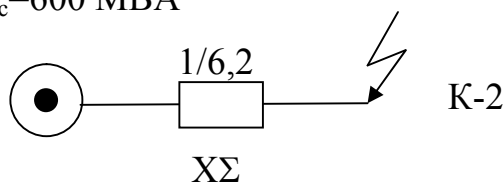


Рис. 2. Схема замещения. Точка К-2 (электроснабжение завода на  $U=35/10$  и

Предварительно выбираем выключатели для В2, В3, В4.

МГГ-10-2000/500 с номинальными и расчётными данными:

$$U_{н.уст.} = 10кВ; \quad U_{н.} = 10кВ;$$

$$I_{н.дл.} = 1500А; \quad I_{маx.раб.} = 1020А;$$

$$S_{н.отк.} = 350МВ \cdot А; \quad S_{рас.отк.} = 97МВ \cdot А.$$

для линий, отходящих от шин ГПП, при 6 и 10 кВ ВМП-10П с номинальными и расчётными данными:

$$U_{н.уст.} = 6кВ; \quad U_{н.} = 10кВ; \quad U_{н.уст.} = 10кВ;$$

$$I_{н.дл.} = 600А; \quad I_{маx.расч.} = 576А; \quad I_{маx.раб.} = 270А;$$

$$S_{н.отк.} = 200МВ \cdot А; \quad S_{рас.отк.} = 97МВ \cdot А; \quad S_{расч.отк.} = 97МВ \cdot А.$$

Величины  $I_{маx.раб.}$  для отходящих линий по данным табл. 1.5.

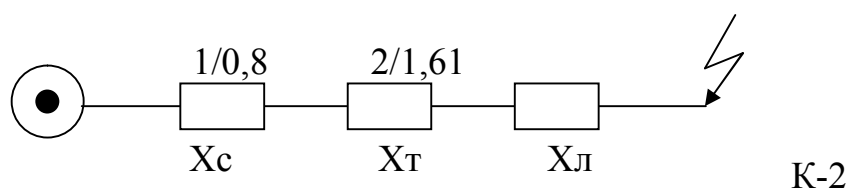
в) Электроснабжение завода на напряжении  $U = 110/20, 110/10$  и  $110/6$  кВ.

$$x_{\Sigma} = x_c + x_T + x_{л.} = 0,8 + 0,08 + 3,94 = 4,82,$$

$$\text{где } x_{л.} = 0,4 \cdot 4 \cdot \frac{600}{110^2} = 0,08;$$

$$x_{T1} = \frac{10,5 \cdot 600}{100 \cdot 16} = 3,94.$$

$$S_c = 600 \text{ МВА}$$



$$S_c = 600 \text{ МВА}$$

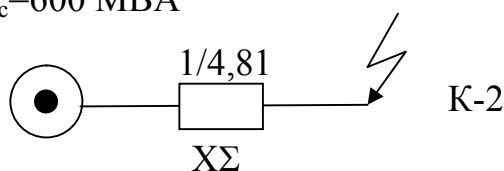


Рис. 1.2. Схема замещения. Точка К-2 (электроснабжение завода на  $U = 110/20, 110/10, 110/6$  кВ)

Мощность, отключаемая выключателями:

$$S_{расч.отк.} = \frac{600}{4,82} = 125 \text{ МВА.}$$

Предварительно выбираем следующие выключатели: для В2, В3, В4 и линий, отходящих от шин ГПП, при  $U = 20$  кВ ВМП-20 с номинальными и расчётными данными:

$$\begin{aligned} U_{н\ уст.} &= 20 \text{ кВ}; & U_n &= 20 \text{ кВ}; \\ I_{н\ дл} &= 600 \text{ А}; & I_{\max\ раб} &= 512 \text{ А}; \\ S_{н\ отк.} &= 600 \text{ МВ} \cdot \text{А}; & S_{расотк.} &= 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}. \end{aligned}$$

Для В2, В3, В4 при  $U = 6$  кВ МГГ-10 2000/500 с номинальными и расчётными данными:

$$\begin{aligned} U_{н\ уст.} &= 6 \text{ кВ}; & U_n &= 10 \text{ кВ}; \\ I_{н\ дл} &= 2000 \text{ А}; & I_{\max\ раб} &= 1700 \text{ А}; \\ S_{н\ отк.} &= 200 \text{ МВ} \cdot \text{А}; & S_{расотк.} &= 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}. \end{aligned}$$

Для В2, В3, В4 при  $U = 10$  кВ ВМП-10 с номинальными и расчётными данными:

$$\begin{aligned} U_{н\ уст.} &= 10 \text{ кВ}; & U_n &= 10 \text{ кВ}; \\ I_{н\ дл} &= 1500 \text{ А}; & I_{\max\ раб} &= 1020 \text{ А}; \\ S_{н\ отк.} &= 350 \text{ МВ} \cdot \text{А}; & S_{расотк.} &= 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}. \end{aligned}$$

Для линий, отходящих от шин ГПП, при  $U = 6$  кВ и  $U = 10$  кВ ВМП-10П с номинальными и расчётными данными:

$$\begin{aligned} U_{н\ уст.} &= 6 \text{ кВ}; & U_n &= 10 \text{ кВ}; & U_{н\ уст.} &= 10 \text{ кВ}; \\ I_{н\ дл} &= 600 \text{ А}; & I_{\max\ расч} &= 576 \text{ А}; & I_{\max\ раб} &= 270 \text{ А}; \\ S_{н\ отк.} &= 200 \text{ МВ} \cdot \text{А}; & S_{расотк.} &= 97 \text{ МВ} \cdot \text{А}; & S_{расчотк.} &= 97 \text{ МВ} \cdot \text{А}. \\ S_{расч.отк.} &= 125 \text{ МВА}. \end{aligned}$$

5. Определение сечений кабельных линий распределительной сети 6÷20 кВ

Линия Л-4, РУ-2 ГПП,  $U_n = 6$  кВ (вар.1).

Линия Л-4, предназначенная для питания потребителей I и частично II и III категорий 10, 11, 22, 21, 13 и 18 цехов, выполняется двумя рабочими кабелями в целях обеспечения требуемой бесперебойности питания.

1) По нагреву расчётным током.

Расчётный ток нормального режима работы (на два кабеля) равен:

$$I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{5988}{2 \cdot 1,73 \cdot 6} = 288 \text{ А}$$

Расчётный ток послеаварийного режима работы (на один кабель) равен:

$$I_{\max p} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{5988}{1,73 \cdot 6} = 576 \text{ А}$$

Выбираем сечение кабеля по нормальному режиму работы ( $S_n = 2 \times 150 \text{ мм}^2$ ) и проверяем его по условиям послеаварийного режима работы:

$S = 2 \times 150 \text{ мм}^2$ ;  $I_{\text{доп}} = 600 \text{ А}$  (при прокладке в траншее двух кабелей).

Условия проверки кабеля по нагреву расчётным током следующие:

$$I_p \leq I'_{\text{доп}};$$

$$I_{\max paa} \leq 1,3 I'_{\text{доп}};$$

$$I'_{\text{доп}} = k \cdot I_{\text{доп}} = 0,8 \cdot 600 = 480 \text{ А}$$

где  $I'_{\text{доп}}$  - допустимый по условиям нагрева ток для кабеля с алюминиевыми жилами  $S = 2 \times 150 \text{ мм}^2$  ( $U = 6$  кВ, при прокладке в траншее четырех кабелей сечением по  $150 \text{ мм}^2$ );

$k$  – поправочный коэффициент на число работающих кабелей, лежащих рядом в земле, при расстоянии в свету между ними  $100 \text{ мм}$ .

По условиям допустимого нагрева и с учетом возможной перегрузки на 30% для кабеля с бумажной изоляцией (напряжением до 10 кВ)  $S_n = 2 \times 150 \text{ мм}^2$ :

$$1,3 I'_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 480 = 624 \text{ А}$$

Следовательно, имеем:

$$I_p \leq I'_{\text{доп}} \quad 288 \leq 480 \text{ А};$$

$$1,3 I'_{\text{доп}} \geq I_{\max paa} \quad 624 \geq 576 \text{ А};$$



Таким образом, выбранное сечение  $S_H=2 \times 150 \text{ мм}^2$  удовлетворяет условиям как норм., так и аварийного режимов работы.

2) По условию механической прочности:

$$S_T=10 \text{ мм}^2$$

3) По условиям коронирования кабелей принимаем минимально допустимое сечение

$$S_K=10 \text{ мм}^2$$

4) По допустимой потере  $U$  в норм. ( $\Delta U_{\text{доп}}=5\%$ ) и аварийном ( $\Delta U_{\text{доп}}=10\%$ ) режимах работы проверяется сечение  $S_H=2 \times 150 \text{ мм}^2$ .

Используем данные таблицы, по которым определяем  $l \Delta U 1\%=0,56 \text{ км}$  для сечения  $S_H=2 \times 150 \text{ мм}^2$   $l=0,08 \text{ км}$  – длина линии Л-4, РУ-2 ГПП.

$$l_{\text{доп}} = l \Delta U 1\% \cdot \Delta U_{\text{доп}} \% \frac{I'_{\text{доп}}}{I_p} = 0,56 \cdot 5 \cdot \frac{480}{288} = 4,7 \text{ км};$$

$$l_{\text{доп ав}} = l \Delta U 1\% \cdot \Delta U_{\text{доп ав}} \% \frac{I'_{\text{доп}}}{I_{\text{max paa}}} = 0,56 \cdot 10 \cdot \frac{480}{576} = 4,7 \text{ км}.$$

Таким образом, выбранное сечение линии Л-4  $S_H=2 \times 150 \text{ мм}^2$  соотв. всем условиям.

Выбор сечения кабеля по условиям экономической целесообразности

Для нахождения  $S_{\text{эц}}$  намечается несколько стандартных сечений кабеля:

$2 \times 150$ ;  $2 \times 185$ ;  $2 \times 240 \text{ мм}^2$  и т.д. сводим в табл. 5.

Таблица 5.

№ П/П	$S_T, \text{ мм}^2$	Кз	$Kз^2$	$\Delta P_H, \text{ кВт/км}$	q, т/км	C, т.руб/км	$\Phi_L, \text{ км}$	L, км	$C_0, \text{ р/кВтч}$	T, ч
1.	2x150	0,48	0,23	67	2x1,2	2x4,75	3,0	0,08	0,016	8000
2.	2x185	0,42	0,18	69	2x2,15	2x5,48				
3.	3x150	0,32	0,1	67	3x1,2	3x4,75				
4.	2x240	0,37	0,14	70	2x1,9	2x6,56				
5.	3x185	0,28	0,08	69	3x1,5	3x5,48				
6.	3x240	0,25	0,06	70	3x1,9	3x6,56				

№ п/п	S <sub>г</sub> , мм <sup>2</sup>	ΔP <sub>г</sub> , кВт	Δδ <sub>а</sub> , тыс.кВтч/год	Сп, тыс.руб/год	Са, тыс.руб/год	Сэ, тыс.руб/год	Кл, тыс.руб	0,125Кл, тыс.руб	Зл, тыс.руб	Ср ал.г
1.	2x150	2,5	20	0,32	0,05	0,95	0,37	1,52	0,56	0,38
2.	2x185	2,0	16	0,26	0,05	0,31	1,75	0,22	0,53	0,48
3.	3x150	1,07	8,6	0,14	0,07	0,21	2,3	0,29	0,50	0,58
4.	2x240	1,5	12	0,19	0,06	0,25	2,1	0,26	0,51	0,61
5.	3x185	0,88	7,05	0,11	0,08	0,19	2,6	0,33	0,52	0,72
6.	3x240	0,67	5,4	0,09	0,1	0,19	3,2	0,4	0,59	0,91

Определяем S<sub>эц</sub> по формуле:

$$S_{эц} = \frac{S_1 + S_2}{2} - \frac{\Delta S_1}{2\delta};$$

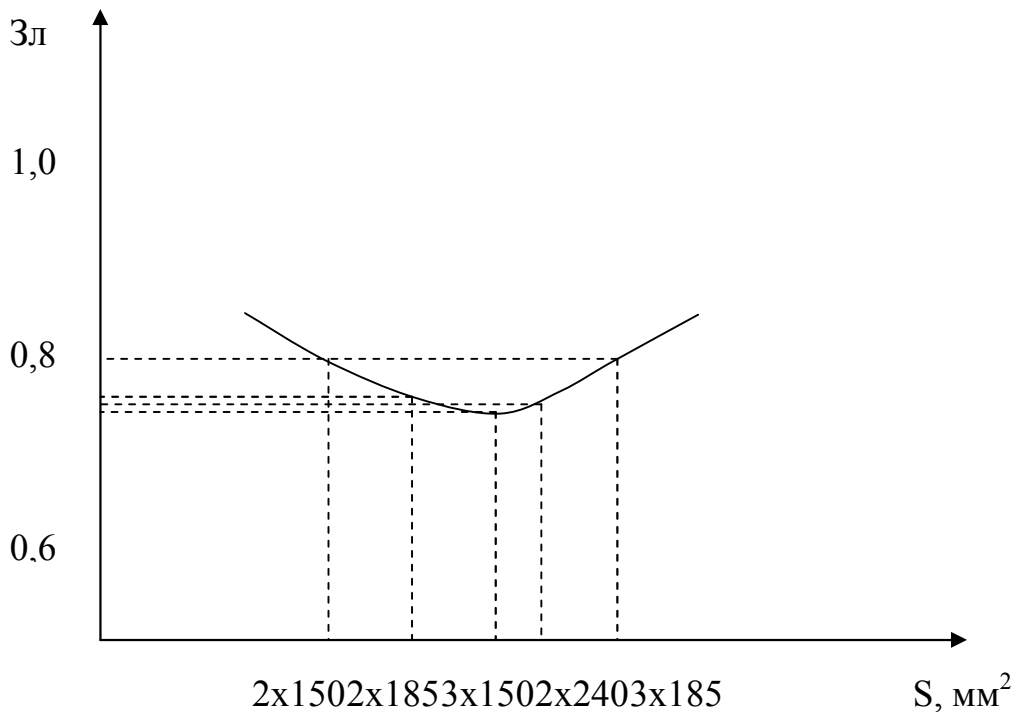
$$S_1=2x185 \text{ мм}^2; \quad 31=0,53 \text{ т.руб./год}; \quad \Delta 31=-0,03; \quad \Delta S1=80;$$

$$S_2=3x150 \text{ мм}^2; \quad 32=0,50 \text{ т.руб./год}; \quad \Delta 32=0,01; \quad \Delta S2=30;$$

$$S_3=2x240 \text{ мм}^2; \quad 33=0,51 \text{ т.руб./год}; \quad \Delta 3'1=110.$$

$$S_{эц} = \frac{370 + 450}{2} - \frac{110}{2 \left( \frac{0,01}{-0,03} \cdot \frac{80}{30} - 1 \right)} = 439 \text{ мм}^2;$$

Принимаем ближайшее меньшее S<sub>эц</sub> = 2x185 мм<sup>2</sup>.



Выбор экономически целесообразного сечения распределительных линий  $Z=f(S)$ .

Вариант 1.

По величинам затрат и сечений построена кривая  $Z=f(S)$ . Выбор сечений ост. линий распределит. сети 6-20 кВ аналогичен и сведен в табл. 6.

Таблица 6.

Вар.	Наименование линии	Назначение линии	Кол-во кабел.	Расч. нагр. на 1 к.		Длина линии, км	Способ прокл.	Поправ. коэф. прокл. кабеля
				в норм.р. $I_p, A$	в авар.р. $I_{max}$			
вариант 1-5	Л-1	ТПЗ РУ-1	2	72,5	145	0,02	траншея	0,9
	Л-2	РУ-1 ГПП	2	148	296	0,23		0,9
	Л-3	ТП-4 РУ-2	2	50	100	0,02		0,9
	Л-4	РУ-2 ГПП	2	288	576	0,08		0,8
	Л-5	ТП-6 РУ-3	2	107,5	215	0,02		0,9
	Л-6	РУ-3 ГПП	2	315	630	0,35		0,9
	Л-7	ТП-1 ТП-2	2	45,5	91	0,29		0,9
	Л-8	ТП-2 ГПП	2	135	270	0,27		0,9
	Л-9	РУ-2 ТП-5	2	144	288	0,28		0,9
	Л-10	ТП-5 ТП-8	2	78	156	0,29		0,9
	Л-11	РУ-3 ТП-7	2	124,5	249	0,38		0,9

Продолжение табл. 6.

Вар.	Наим. линии	Назначение линии	Доп. нагр. на 1 каб		Сечения каб. выбр. по усл. доп. нагрева, мм <sup>2</sup>	Сечение выбр. по мех. проч., мм <sup>2</sup>	Сеч. выбр. по потр. нагр., мм <sup>2</sup>	Эконом. целесообр. сечения, мм <sup>2</sup>	Марка и сечение окон. выбр. кабеля, мм <sup>2</sup>
			в норм. р. $I'_{доп}, A$	в авар. р. 1,3I' $I'_{доп}, A$					
вариант 1-5	Л-1	ТПЗ РУ-1	113	146	25	95	25	50	АСБ (3x95)
	Л-2	РУ-1 ГПП	234	304	120	95	120	185	АСБ (3x185)
	Л-3	ТП-4 РУ-2	94,5	123	25	95	95	150	АСБ (3x150)
	Л-4	РУ-2 ГПП	480	625	2x150	95	2x150	2x185	2АСБ (3x185)
	Л-5	ТП-6 РУ-3	171	222	70	95	95	150	АСБ (3x150)
	Л-6	РУ-3 ГПП	490	642	2x150	95	2x150	2x185	2АСБ (3x185)
	Л-7	ТП-1 ТП-2	72	94	16	95	95	95	АСБ (3x95)
	Л-8	ТП-2 ГПП	234	304	120	95	120	185	АСБ (3x185)
	Л-9	РУ-2 ТП-5	234	304	120	95	120	185	АСБ (3x185)
	Л-10	ТП-5 ТП-8	140	181	50	95	95	150	АСБ (3x185)
	Л-11	РУ-3 ТП-7	202	263	95	95	95	150	АСБ (3x185)

6. Техничко-экономические показатели трансформаторов связи с энергосистемой.

Капитальные затраты:

Стоимость двух трехобмоточных трансформаторов типа ТДТ-16000/110 при наружной установке:  $K_T = 2 \cdot 68,2 = 136,4$  тыс. руб.

Стоимость двух вводов с разъединителями и короткозамыкателем, устанавливаемые в ОРУ-110 кВ на железобетонных конструкциях:

$$K_{p.k.} = 2 \cdot 4,76 = 9,52 \text{ тыс. руб.}$$

Суммарные капитальные затраты:

$$K_{\Sigma} = K_T + K_{p.k.} = 136,4 + 9,52 = 145,9 \text{ тыс. руб.}$$

Полная расчётная мощность трансформатора на ГПП составляет 18640 кВА. Нагрузка на один трансформатор составляет 9320 кВА.

Считаем, что обмотка высшего U загружена на 100%, среднего – 60% и низшего – 40%, тогда коэффициент загрузки обмоток равен:

$$K_{звн} = \frac{S_{рвн.}}{S_{HT}} = \frac{9320}{16000} = 0,58; K_{зсн} = \frac{S_{рсн.}}{S_{HT}} = \frac{5592}{16000} = 0,35;$$

$$K_{знн} = \frac{S_{рнн.}}{S_{HT}} = \frac{3728}{16000} = 0,23$$

Потребление мощности охлажд. установки принимаем = 12 кВт.

Приведенные потери холостого хода:

$$\Delta P_{xx} = \Delta P_{xx} + k_{ин} \cdot \frac{I_{xx} \% \cdot S_{HT}}{100};$$

$$\Delta P'_{xx} = 32 + 0,08 \cdot \frac{1,05 \cdot 16000}{100} = 45 \text{ кВт}$$

Напряжения к.з. соотв. по обмоткам высшего, среднего и низшего напр.:

$$U_{квн} = \frac{U_{кзвнсн} + U_{кзвннн} - U_{кзсннн}}{2};$$

$$U_{квн} = \frac{10,5 + 17 - 6}{2} = 10,75\%; U_{кс} = \frac{10,5 - 17 + 6}{2} = 0; U_{кнн} = \frac{17 + 6 - 10,5}{2} = 6,25\%;$$

Приведенные потери к.з. определяются:

$$\Delta P'_{кзвн} = \Delta P_{кзвн} + \kappa_{уп} \cdot \frac{U_{квн} \% \cdot S_{HT}}{100};$$

$$\Delta P'_{кзвн} = 42 + 0,08 \cdot \frac{1,75 \cdot 16000}{100} = 180 \text{ кВт}$$

$$\Delta P'_{кзсн} = 31,5 + 0,08 \cdot \frac{0 \cdot 16000}{100} = 31,5 \text{ кВт}$$

$$\Delta P'_{кзнн} = 31,5 + 0,08 \cdot \frac{6,25 \cdot 16000}{100} = 111,5 \text{ кВт}$$

Приведенные потери мощности в одном трехобмоточном трансформаторе:

$$\begin{aligned} \Delta P'_{ТТ} &= \Delta P'_{хх} + \Delta P'_{оу} + \kappa_{звн}^2 \cdot \Delta P'_{кзвн} + \kappa_{зсн}^2 \cdot \Delta P'_{кзсн} + \kappa_{знн}^2 \cdot \Delta P'_{кзнн} = \\ &= 45 + 12 + 0,58^2 \cdot 180 + 0,35^2 \cdot 31,5 + 0,23^2 \cdot 111,5 = 129 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

Потери мощности в двух трансформаторах ГПП:

$$\Delta P'_{2ТТ} = 129 \cdot 2 = 258 \text{ кВт};$$

$$C_{nm} = \Delta P'_{2ТТ} \cdot T_{\partial 2} \cdot C_0 = 258 \cdot 8000 \cdot 0,016 = 33 \text{ т.руб./год}$$

$$C_{ам} = \varphi_T \cdot \kappa_T = 0,063 \cdot 145,9 = 9,2 \text{ т.руб./год}$$

$$C_{эм} = C_{nm} + C_{ам} = 33 + 9,2 = 42,2 \text{ т.руб./год}$$

$$C_{эм} + 0,125 \cdot \kappa_T = 42,2 + 0,125 \cdot 145,9 = 61 \text{ т.руб./год}$$

$$\Delta \mathcal{E}_{ам} = \Delta P'_{2ТТ} \cdot T_{\partial 2} = 258 \cdot 8000 = 2060 \text{ т.кВт.ч/год}$$

$$C_{.mm} = 2 \cdot 6,74 = 13,5 \text{ т}$$

На основании результатов расчётов, составляем итоговую таблицу технико-экономических показателей. Как наиболее рациональный принимается вариант системы электроснабжения с напряжением питающих и распределительных сетей 20 кВ.

Т.к. у нас имеются потребители электроэнергии 6 кВ, то предусматриваем дополнительные трансформаторные п/ст 20/6 кВ: ТП-3; ТП-4; ТП-6.

В соответствии с расчётами намечаем к установке на ТП-3 (цех № 14, 15) два трансформатора типа ТМ-20/6, мощностью 1600 кВА каждый, расчётная мощность ТП-3 – 1994 кВА:

$$K_3 = \frac{S_p}{2 \cdot S_{HT}} = \frac{1994}{2 \cdot 16000} = 0,62; K_{зав} = \frac{S_p}{S_{HT}} = \frac{1994}{16000} = 1,25.$$

ТП-4 (цех № 18); Pp=1920 кВт; Qp=1440 квар; Sp=2400 кВА. Намечаем к установке 2 трансформатора по 1600 кВА каждый с коэффициентом загрузки:

$$K_z = \frac{2400}{2 \cdot 16000} = 0,75;$$

$$K_{зав} = \frac{2400}{16000} = 1,5.$$

ТП-6; Pp=1575 кВт; Qp=1181 квар; Sp=1968 кВА. Намечаем к установке 2 трансформатора по 1600 кВА каждый с коэффициентом загрузки:

$$K_z = \frac{1968}{2 \cdot 16000} = 0,62;$$

$$K_{зав} = \frac{1968}{16000} = 1,24.$$

Таблица 7.

Наименование	Напряжение, кВ	Кап. затраты, к, тыс.руб.	Годовые эксп. расходы			Год.расч.загр., тыс.руб/год	Потери эл.энергии ΔЭа, т.кВт/год	Выход цв.метал., Сцм
			Сп, т.руб/год	Са, т.руб/год	Сэ, т.руб/год			
Система внеш. электроснабжения	20	40,8	24	3,5	27,5	32,6	1495	20,2
	35	80,2	14,8	2,6	17,4	27,4	927	19
	110	84,9	1,84	3,5	5,4	16	115	15,3
Тр-ры связи с энергосистемой	35/6-10	65,9	27,2	4,4	31,6	40,4	1776	5,6
	110/6-20	145,9	33,0	9,2	42,2	61,0	2060	13,5
Система внутр. электроснабжения	6	171,2	28,4	9,95	38,35	65	1776	6,3
	10	184,5	28,5	10,9	39,5	65,5	1958	4,5
	20	236,3	28,9	13,8	40,7	72,4	1770	3,7
Система электроснабжения завода	20/20							
	35/6	277,1	50,9	17,3	68,2	105,0	3265	23,9
	35/10	321,4	70,4	19,6	87,3	132,8	4479	35,3
	110/6	334,7	70,5	18	88,5	133,3	4661	23,5
	110/20/6	402,1	62,5	22,7	85,2	142	3951	21,6
	110/20/6	415,4	62,7	23,7	86,4	142,5	4133	19,8
110/20/6	467,2	62,7	26,5	87,6	149	3945	19	
Выбр. система электроснабжения	20/20	277,1	50,9	17,3	68,2	105	3265	23,9

Принимается, как наиболее рациональный, вариант системы электроснабжения 35 кВ и распределительных сетей 6 кВ.

## 7. Краткое описание принятой системы электроснабжения

Электроснабжение завода осуществляется от п/ст энергосистемы по двум воздушным линиям 35 кВ, выполненным проводом марки «АС» сечением 185 мм<sup>2</sup> на железобетонных промежуточных и анкерных металлических опорах с тросом. На ГПП открыто установлены 2 трехобмоточных трансформатора типа ТД-16000/35. На стороне 35 кВ принята упрощенная схема без выключателей с минимальным количеством аппаратуры (разъединители и короткозамыкатели) РУ-6 выполнено из шкафов распределительных устройств закрытого типа.

На стороне 6 кВ предусмотрена одна система шин, секционеров. масляным выключателем с устройством автоматического включения резерва (АВР).

Распределительные устройства РУ-1, РУ-2, РУ-3 получают питание от ГПП по радиальной схеме с резервированием. Распределительные сети напряжением до и выше 1000 В по территории завода прокладываются в кабельных траншеях.

## 8. Расчёт токов короткого замыкания

Расчёт токов КЗ производится для выбора и проверки эл.аппаратов, изоляторов и токоведущих частей.

Принимаем базисные условия:

Базисная мощность  $S_b = S_c = 600$  МВА;

Базисное напряжение  $U_b = U_{cp} = 6,3$  кВ;

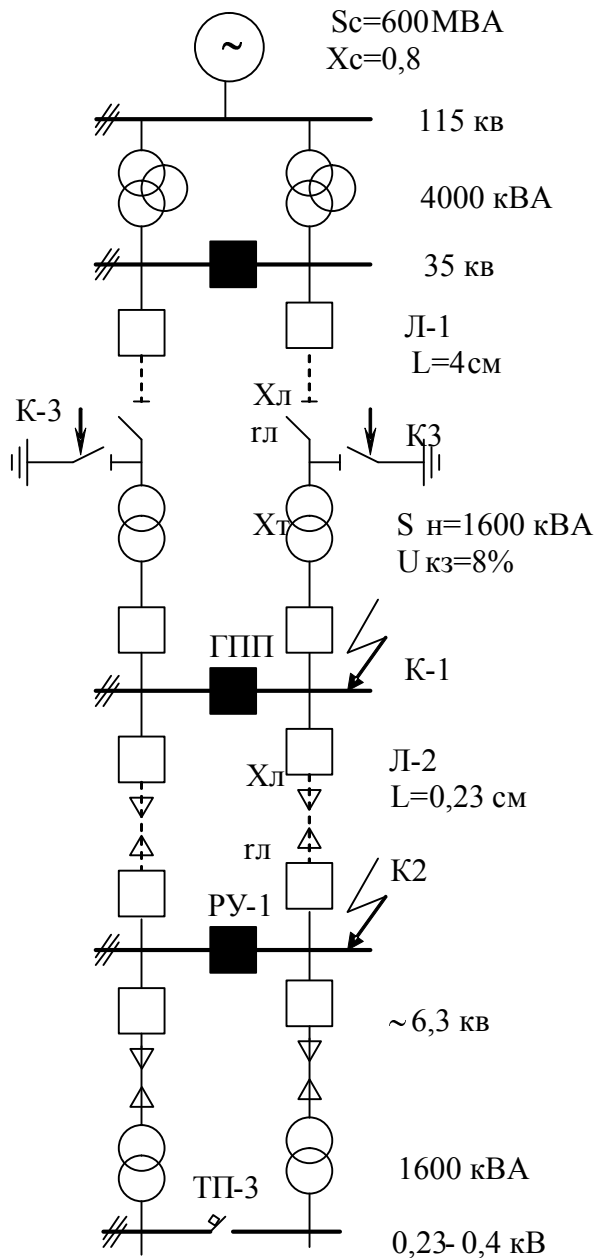
Базисный ток  $I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_b} = \frac{600}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 55$  кА.

Расчёт сопротивлений элементов системы электроснабжения в относительных единицах

Сопротивление системы:

$$x_1 = x_{cб} = x_c \cdot \frac{S_b}{S_{nc}} = 0,8 \cdot \frac{600}{600} = 0,8$$

Сопротивление воздушной линии ЛЭП-35 кВ



Расчётная схема

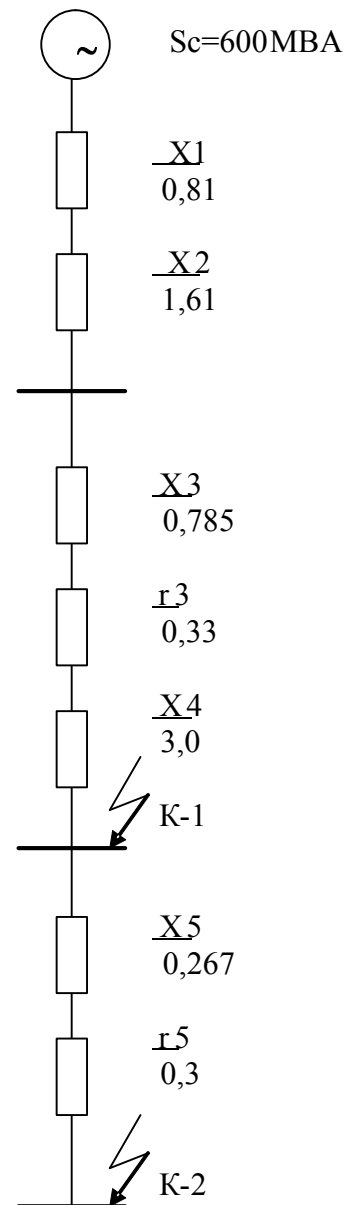


Схема замещения  
(точки К 1, К-2)

$$x_3 = x_{л0} = x_0 \cdot l \frac{S_{\sigma}}{U_n^2} = 0,4 \cdot 4 \frac{600}{35^2} = 0,785$$

$$r_3 = r_{л0} = r_0 \cdot l \frac{S_{\sigma}}{U_n^2} = \frac{1000}{32 \cdot 185} \cdot 4 \frac{600}{35^2} = 0,33$$

где  $X_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$  – реактивное сопротивление 1 км дл.

Сопротивление трансформаторов системы:

$$X_2 = X_{т0} = X_{в0} + X_{с0} = 1,61$$

(из расчета системы внешнего электроснабжения)



Сопротивление трансформаторов ГПП:

$$x4 = x_{T\bar{b}} = U_{кз} \frac{S\bar{b}}{S_{ит}} = 0,08 \cdot \frac{600}{16} = 3,0$$

Сопротивление кабельной линии ГПП-РУ-1

$$x5 = x_{кл} = x_0 \cdot l \frac{S\bar{b}}{U_n^2} = 0,07 \cdot 0,23 \frac{600}{6^2} = 0,267$$

$$r5 = r_{кл} = r_0 \cdot l \frac{S\bar{b}}{U_n^2} = 0,08 \cdot 0,23 \frac{600}{6^2} = 0,3$$

$$r0 = 0,08 \text{ Ом/км}; x0 = 0,07 \text{ Ом/км.}$$

Точка К-1.

Сопротивление от источника питания до точки КЗ К-1

$$X\Sigma = x1 + x2 + x3 + x4 = 0,8 + 1,61 + 0,785 + 3,0 = 6,2$$

$$R21 = R3 = 0,33$$

Имеем  $R\Sigma1 < 1/3 X\Sigma1$ , следовательно, активное сопротивление при расчёте токов КЗ не учитываем.

Так как  $X\Sigma1 > 3$ , то периодическая слагающая тока КЗ для всех моментов времени одинакова и равна:

$$I_k = I\bar{b} / x\Sigma = 55 / 6,2 = 8,9 \text{ кА}$$

Ударный ток КЗ

$$I_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I' = 1,8 \sqrt{2} \cdot 8,9 = 22,7 \text{ кА}$$

Где  $K_y$  – ударный коэффициент, принимаемый = 1,8.

Наибольшее действующее значение тока КЗ за первый период от начала процесса КЗ:

$$I_y = I'' \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2} = 8,9 \sqrt{1 + 2(2,8 - 1)^2} = 13,5 \text{ кА}$$

Мощность трехфазного КЗ для произвольного момента времени:

$$S_{кз1} = \sqrt{3} \cdot U_{сн} \cdot I_t = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 8,9 = 97 \text{ МВА.}$$

Точка К-2.

Сопротивление от источника питания до точки КЗ К-2

$$X\Sigma2 = x1 + x2 + x3 + x4 + x5 = 0,8 + 1,61 + 0,785 + 3,0 + 0,267 = 6,5$$

$$R_{\Sigma 2} = R_3 + R_5 = 0,33 + 0,3 = 0,63$$

Имеем  $R_{\Sigma 2} < 1/3 X_{\Sigma 2}$ , следовательно, активное сопротивление при расчёте токов КЗ не учитываем.

Так как  $X_{\Sigma 2} > 3$ , то

$$I_k = I_b / x_{\Sigma 2} = 55 / 6,5 = 8,45 \text{ кА}$$

Ударный ток КЗ

$$I_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I'' = 1,8 \sqrt{2} \cdot 8,45 = 21,6 \text{ кА}$$

Где  $K_y$  – ударный коэффициент, принимаемый = 1,8.

Наибольшее действующее значение тока КЗ за первый период от начала процесса КЗ:

$$I_y = I'' \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2} = 8,9 \sqrt{1 + 2(1,8 - 1)^2} = 12,8 \text{ кА}$$

Мощность трехфазного КЗ для произвольного момента времени:

$$S_{кз} = \sqrt{3} \cdot U_{сн} \cdot I_t = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 8,45 = 92 \text{ МВА.}$$

## 9. Выбор выключателей.

Проверяем предварительно выключатели типа МГГ-10-2000/500.

Расчётная точка КЗ – точка К-1.

Расчётный ток термической устойчивости определяется по формуле:

$$I_m = I_{\infty} \sqrt{\frac{t_n}{t_{HT}}},$$

где  $t_{HT}$  – время, к которому отнесен номинальный ток термической устойчивости выключателей, принимаем = 10 с;

$t_n$  – приведенное время КЗ, с.

Учитывая время срабатывания защиты, принимаем действительное время отключ. КЗ ( $t$ ) равным 1,5 с. Следовательно,

$$I_m = 8,9 \sqrt{\frac{1,25}{10}} = 3,1 \text{ кА}$$

Выбираем к выключателю провод типа ПЭ-2.

## 10. Выбор разъединителей

Выбор разъединителей в цепи предохранителей линии РУ-1-ТП-3 выполняется аналогично выбору выключателей и сводится в табл.8.

Таблица 8.

Проверяемая величина	Расчетные параметры	Тип предохр. разьед.	Номин. парам. пред.,разьед.	Формулы для проверки и расчета
<b>Предохранители</b>				
Номин.напр., кВ	$U_{н\ уст}=6$ кВ	ПК-6/150	$U_n=6$ кВ	$U_n \geq U_{н\ уст}$
Номин.длит.ток, А	$I_{\max p}=145$ А		$I_{н\ дл}=150$ А	$I_{н\ дл} \geq I_{\max p}$
Ном.ток откл., кА	$I''=8,5$ кА		$I_{н\ отк}=20$ кА	$I_{н\ отк} \geq I''$
<b>Разъединители</b>				
Номин.напр., кВ	$U_{н\ уст}=6$ кВ	РВ-6/400	$U_n=6$ кВ	$U_n \geq U_{н\ уст}$
Номин.длит.ток, А	$I_{\max p}=145$ А		$I_{н\ дл}=400$ А	$I_{н\ дл} \geq I_{\max p}$
Ном.ток динам.уст.: а) амплит.знач., кА	$i_y=21,6$ кА		$i_{н\ дин}=50$ кА	$i_{н\ дин} \geq i_y$
б) действ.знач., кА	$I_y=12,8$ кА		$I_{н\ дин}=29$ кА	$I_{н\ дин} \geq I_y$
Ном.ток терм.уст., кА	$I_{тн}=2,72$ кА		$I_{тн10}=10$ кА	$I_{тн10} \geq I_{тн}$

## 11. Шины ГПП

Выбор и проверку шин ГПП выполняем по максимальному рабочему току ( $I_{\max p}$ ), термической устойчивости ( $S_{т\ уст}$ ), допустимому напряжению в шине на изгиб ( $\delta_{доп}$ ).

1. Длительный допустимый ток определим:

$$I_{доп} = k1 \cdot k2 \cdot k3 \cdot I'_{доп},$$

где  $I'_{доп}$  – длительно допустимый ток для одной полосы при  $t_{ш}=70^{\circ}\text{C}$ ,  $t_b=25^{\circ}\text{C}$  и расположении шин вертикально

$k1$  -0 поправочный коэффициент =0,95;

$k2$  – коэффициент длительно допустимого тока;

$k3$ - поправочный коэффициент при  $t_b$ , отличном от  $25^{\circ}\text{C}$ .

Выбираем окрашенные однополосные прямоугольные алюминиевые шины сечением  $100 \times 10$  мм ( $S=1000$  мм<sup>2</sup>), расположенные горизонтально с длительно допустимым током  $I'_{доп}=1820$  А;

$$I_{доп} = 0,95 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1820 = 1730 \text{ А.}$$

Расчетное напряжение в шине на изгиб определяется по формуле:

$$\sigma_{расч} = \frac{f \cdot L^2}{10 \cdot W},$$

где  $f$  – сила взаимодействия между шинами разных фаз, кг\*с;

$L$  – расстояние между опорными изоляторами, принимаемое = 90 см;

$W$  – момент сопротивления сечения, см<sup>3</sup>.

$$f=1,75 \cdot 10^{-2} \cdot (t^2/a)=1,75 \cdot 10^{-2} \cdot (21,6^2/25)=0,33 \text{ кг*с};$$

$$W=0,17 \cdot b h^2=0,17 \cdot 1 \cdot 10^2=17 \text{ см}^3;$$

$$\sigma_{расч} = \frac{0,33 \cdot 90^2}{10 \cdot 17} = 15,7 \text{ кг/см}^2.$$

Выбор и проверку шин сводим в табл. 9.

Таблица 9.

Проверяемая величина	Расчетные параметры	Марка сечения шин	Номин. данные шин	Формулы для проверки и расчета
Шины ГПП				
Длительный допустимый ток, А	$I_{\max p}=1690 \text{ А}$		$I_{\text{доп}}=400 \text{ А}$	$I_{\text{доп}} \geq I_{\max p}$
Сечение шины (проверка по термич.уст.)	$S_{\text{ту min}}=110 \text{ мм}^2$		$S=1000 \text{ мм}^2$	$S \geq S_{\text{ту min}}$
Допуст.нагр. в шине на изгиб, кг/см <sup>2</sup>	$\sigma_{расч}=15,7 \text{ кг/см}^2$		$\sigma_{\text{доп}}=650 \text{ кг/см}^2$	$\sigma_{\text{доп}} \geq \sigma_{расч}$
Условия в одн.мех.резон.	$f_{с кр}=62 \text{ Гц}$		$f_{с кр1}=45 \div 55 \text{ Гц}$ $f_{с кр2}=90 \div 110 \text{ Гц}$	$f_{с кр1} \geq f_{с кр}$ $f_{с кр2} \geq f_{с кр}$

## 5. Самостоятельная работа студентов

### 5.1. График самостоятельной работы студентов

Номер лекции	Номер темы	Вопросы, изучаемые на лекции	Занятия практич.	Используемые нагляд. и метод. пособия	Самостоятельная работа студентов		Формы контроля
					содерж.	часы	
1-4	1	1		Слайды к медиапроектору по теме лекции	Изучение материалов по теме лекции	6	Блиц-опрос на лекции
5.6	2	2	1	Слайды к медиапроектору по теме лекции	Изучение материалов по теме лекции, по теме практики	4	Блиц-опрос на лекции Защита инд. дом. заданий
7-9	3	3	2,3	Слайды к медиапроектору по теме лекции	Изучение материалов по теме лекции, по теме практики	4	Блиц-опрос на лекции Защита инд. дом. заданий
10-13	4	4	4	Слайды к медиапроектору по теме лекции	Изучение материалов по теме лекции, по теме практики	6	Блиц-опрос на лекции Защита инд. дом. заданий
14-16	5	5	5	Слайды к медиапроектору по теме лекции	Изучение материалов по теме лекции, по теме практики	6	Блиц-опрос на лекции Защита инд. дом. заданий
17-20	6	6	6-8	Слайды к медиапроектору по теме лекции	Изучение материалов по теме лекции, по теме практики	6	Блиц-опрос на лекции Защита инд. дом. заданий
21-24	7	7		Слайды к медиапроектору по теме лекции	Изучение материалов по теме лекции	4	Блиц-опрос на лекции

## **5.2. Методические указания по выполнению домашних заданий и контрольных работ.**

При изучении дисциплины предусмотрено выполнение семи индивидуальных домашних заданий для студентов очной формы обучения и одной контрольной работы для студентов заочной и сокращенной заочной форм обучения. Тематика индивидуальных домашних заданий совпадает с тематикой практических занятий. Прежде чем приступать к выполнению домашних заданий необходимо изучить соответствующих теоретический материал и разобраться с решением аналогичных задач, рассмотренных на практических занятиях или в литературе. Примеры решения задач по всем темам приведены в в данном УМКД.

В таблице систематизирована рекомендуемая литература, которая поможет успешно справиться с индивидуальным домашним заданием. Там же показаны в учебных неделях сроки защиты заданий. Индивидуальные домашние задания выполняются с помощью ПК MathCad, SDO-6, RASTR, ZAPUSK, САПР «Карат» и графического редактора Visio.

Контрольная работа для студентов заочной и сокращенной заочной форм обучения предусматривает выполнение трех задач.

### **Цель и задачи выполнения контрольных заданий**

Целью выполнения контрольных заданий является изучение, закрепление и систематизация учебного материала по курсу: выработка навыков самостоятельного решения инженерных задач по специальности.

### **Содержание и оформление контрольных заданий**

Исходные данные для решения задач принимаются по таблицам варианты в соответствии с шифром (табл. 1) или по номерам варианта, выдаваемых преподавателем каждому студенту в отдельности.

Перед решением задачи обязательно должны быть указаны номера вариантов и шифра, а также приведено условие задачи.

Оформление рисунков и результатов решения задач осуществляется в соответствии с действующими ГОСТ и ЕСКД, основные правила оформления результатов контрольных заданий приведены в методических указаниях «Графическая часть курсового и дипломного проектирования».

Если при выполнении задач студент обнаружит в исходных данных и в указаниях по выполнению контрольного задания отсутствие некоторых необходимых данных для решения, их следует принять по справочникам, ГОСТ, каталогам и т.д. с обязательной ссылкой на источник.

Консультация по выполнению контрольных заданий организовывается в период сессий, а также еженедельно в соответствии с расписанием; кроме того, ведущий преподаватель проводит письменные консультации.

Выполненные контрольные задания в соответствии с графиком предоставляются на кафедру до начала экзаменационных сессий для передачи ведущему преподавателю на рецензирование. После защиты студентами контрольных работ по разделу курса, они остаются на кафедре.

Таблица 1

№	Шифр	№	Шифр	№	Шифр	№	Шифр	№	Шифр
1	3643	8	5314	15	3561	22	2315	29	6421
2	2113	9	1234	16	6542	23	3465	30	3333
3	2241	10	5513	17	2651	24	5623	31	2222
4	6152	11	2456	18	5431	25	2354	32	1111
5	1124	12	1345	19	4322	26	4214	33	5555
6	6363	13	1653	20	4136	27	4616	34	4444
7	6255	14	3262	21	3146	28	4532	35	6666

Примечание:

- 1) № - номер варианта задаваемый преподавателем
- 2) Определение исходных данных для решения задач соответствующего варианта осуществляется следующим образом: по первой цифре осуществляется выборка из первой строки, по второй – из второй строки, по третьей из третьей строки, по четвертой из четвертой строки таблицы сходных данных и задач.

## КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ №1

**ЗАДАЧА 1.** Определить максимальную расчетную нагрузку (активную, реактивную и полную) для состава электроприемников цеха представленного в таблице №2.

Расчет электрических нагрузок произвести методом коэффициента расчетной нагрузки и методом коэффициента спроса. При расчете методом коэффициента расчетной нагрузки эффективное число электроприемников  $n_3$  определить по точной формуле и одним из упрощенных способов расчета.

Приняв за базисные результаты определение максимальной расчетной нагрузки цеха методом коэффициента расчетной нагрузки и использованием точной формулы определения  $n_3$ , рассчитать погрешность определения расчетной нагрузки данным методом и методом коэффициента спроса.

Таблица 2. Исходные данные по составу электроприемников цеха

№	Наименование электроприемников и механизмов, номинальное напряжение, и режим работы	Мощность одного ЭП, кВт						Количество ЭП, шт					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
I	1. металлообрабатывающие станки $U_H=380$	19	23	28	37	24	18	21	18	23	29	28	24
	2. печи электронагревательные однофазные $U=220$ В	34	75	42	50	100	20	3	4	2	5	1	4
II	1. прессы $U_H=380$	17	23	30	37	20	14	15	13	12	13	17	19
	2. ковочные машины $U_H=380$	33	42	80	25	75	50	7	4	8	5	6	7
III	1. краны $U_H=380$	7,5	16	7,5	16	7,5	16	3	2	2	1	1	3
		2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2						
		11	11	11	11	11	11						
IV	2. вентиляторы $U_H=380$	4	7,5	40	22	13	10	3	4	2	5	2	4
	1. транспортеры $U_H=380$	10	15	25	12	17	30	2	1	1	2	1	2
	2. насосы $U_H=380$	160	120	180	105	80	140	2	2	1	2	2	1

Примечание: значение коэффициентов мощности, использования, спроса применять по справочным данным.

### Методические указания к решению задачи

Заданную электрическую нагрузку специфических электроприемников (однофазная, печная и крановая нагрузка) необходимо привести к трехфазной системе напряжений и длительному режиму работы ( $c_{ПВ}=100\%$ ).



При определении расчетной нагрузки в зависимости от значений коэффициентов использования все электроприемники необходимо разбить на характерные категории. Определение расчетной нагрузки для этих категорий ЭП осуществлять раздельно. Общая расчетная нагрузка по цеху определяется суммированием расчетных нагрузок для каждой из категорий.

Результаты расчетов предоставить в виде таблиц с внесением в них данных о расчетной нагрузке, определенной каждым из указанных методов и результата расчета погрешности.

Результаты определения средней нагрузки за наиболее загруженную смену ( $P_{CM}$ ,  $Q_{CM}$ ), а также расчетной нагрузки ( $P_p$ ,  $Q_p$ ) рассчитанной методом коэффициента расчетной нагрузки с определением  $n_3$  по точной формуле использовать для выполнения контрольного задания №2.

**ЗАДАЧА 2.** Определить расчетную нагрузку участка цеха с электросварочными установками

Таблица 3. Исходные данные для решения задач

№	Наименование сварочных установок номинальное напряжение режима работы	Паспортная мощность и коэффициент загрузки агрегата						Количество штук					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	Сварочные машины точечные $U_H=380$ В $\cos\phi=0.55$ ПВ= 20%	100	75	150	100	75	150	5	2	4	3	6	2
		0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	0,85						
2	Рельефные автоматические $U_H=380$ В $\cos\phi=0.5$ ПВ= 100%	80	100	120	120	100	80	2	4	6	3	5	3
		0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95						
3	Шовные роликовые $U_H=380$ В $\cos\phi=0.35$	30	20	30	20	30	20	10	14	8	56	3	9
		0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85						
4	Стыковые сварочные машины $U_H=380$ В $\cos\phi=0.55$ ПВ= 20%	200	10	150	30	120	80	3	6	3	6	4	4
		0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7						

Примечание: каждый тип сварочных установок считать подключенным к отдельному шинопроводу.

## Методические указания к решению задач

При работе сварочных установок различают несколько видов расчетной нагрузки:

1. номинальная мощность, приведенная к длительному режиму работы (с  $PВ=100\%$ );
2. средняя нагрузка – для расчета расхода эл. эн. и выбора компенсирующих устройств;
3. среднеквадратичная нагрузка – для выбора элементов сети по условиям нагрева;
4. пиковая нагрузка – для расчета колебаний напряжения и др.

Методы определения расчетной нагрузки сварочных машин достаточно подробно изложены в уч. пособие к курсовому и дипломному проектированию. Значения фактических продолжительностей включения машин ( $PВ_{ф}$ ) принять по табл. 5-4 /1/. Примеры определения расчетной нагрузки представлены в /1/, приложение 1, задача 4 и 7.

### КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ №2

Предварительно определив рациональное напряжение (по одной из ориентированных формул с принятием ближайшего стандартного напряжения), рассчитать экономически целесообразное сечение проводов питающей сети предприятия.

№	Наименование исходных данных	1	2	3	4	5	6
1	Максимальная активная нагрузка предприятия $P_M$ , МВт	24	40	58	74	81	96
	Средневзвешенное значение коэффициента мощности $\cos\phi_{с/в}$	0,9	0,93	0,94	0,95	0,92	0,96
2	Протяженность воздушной линии электропередач от районной подстанции до ГПП (ПГВ) предприятия $L$ , км	5	12	20	25	37	50
3	Число часов использования максимума нагрузки $T_M$	3500	4000	25000	45000	55000	6000
4	Состав нагрузки по категориям надежности эл. снабжения % от $P_H$						
	Первая	5	7	10	14	18	20
	Вторая	91	76	60	25	32	75
	Третья	4	17	30	61	50	5

Примечание: Стоимость потерь мощности  $C_0$  (руб)/кВт.год (принять по данным к задаче 1 контрольного задания №2)

Рекомендованные источники: /3,5,10/.

#### Методические указания по решению задачи

Нестандартное рациональное напряжение питающей сети рассчитывается по одной из общепринятых в практике проектирования формул (Стилла, Вейкерта, Пикагосова и др.) /3/. Поскольку сведения об имеющемся на районной подстанции классе напряжения отсутствуют, то принимается ближайшая к расчетному стандартное напряжение.

Сечения проводов воздушных ЛЭП рассчитываются в соответствии с требованиями ПУЭ /10/ по экономической плотности с выполнением проверок по допустимому нагреву в нормальном и послеаварийном режимах, по условиям короны и др. Сечение проводов, удовлетворяющее всем техническим требованиям принимается в качестве базисного для проведения технико-экономических расчетов. Намечается 3-5 вариантов выполнения ЛЭП проводами сечениями не менее базисного. Для каждого из вариантов рассчитываются приведенные затраты, включающие капитальные вложения на ЛЭП и стоимость потерь электроэнергии. Принимается сечение проводов которому соответствуют минимальные приведенные народнохозяйственные затраты. Примеры расчета рационального сечения представлены в /3/

### КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ №3

Выбрать экономически целесообразное напряжение и схему распределительной сети

№№	Наименование исходных данных	1	2	3	4	5	6
1	Суммарная мощность эл. двигателя напряжением 6 кВ $S_{\Sigma}$ ДВ.6 кВ, МВА	1,0	1,5	1,5	2,0	2,0	2,5
2	Средняя протяженность распределительной сети при радиальной схеме $L_{CP,P}$ , км	0,3	0,4	0,7	0,8	0,5	0,9
3	Средняя протяженность кабеля распределительной сети при схеме двойной магистрали $L_{CP,M}$ , км	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0
4	Отношение числа часов работы предприятия в год ( $T_r$ ) к числу часов использования максимума нагрузки ( $T_M$ )	1,2	1,25	1,35	1,4	1,4	1,35

Примечание: сведения о нагрузке предприятия, стоимость потерь мощности, число часов использования максимума нагрузки принять по исходным данным контрольного задания №3. Считать электродвигатели напряжением 6 кВ, отнесенными к электроприемникам I категории по бесперебойности электроснабжения, их нагрузку – включенной в расчетную нагрузку предприятия.

Рекомендованные источники : /1,2,3,5,10/

Методические указания к решению задачи

Для сравнения принять два класса напряжения распределительной сети (6 и 10 кВ), две схемы выполнения распределительной сети предприятия (радиальную и двойными магистралями). Сравнение вариантов осуществляем с использованием математических моделей, полученных методом планирования эксперимента и представленных в /3/

Примеры выбора рационального напряжения схемы распределительной сети представлены в /3/.

#### КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ №4

По исходным данным с использованием результатов выбора напряжения питающей и распределительной сетей в контрольных заданиях №3 и 4 определить число и экономически целесообразную мощность трансформаторов ГПП (ППВ) предприятия.

Рекомендуемые источники /2,3,5,II/

Методические указания к решению задачи

Число трансформаторов на ГПП (ПГВ) определяется с учетом требований к бесперебойности эл. снабжения и рекомендаций /II/. Мощность трансформатора выбирается по результатам технико-экономического сравнения 2-3 вариантов установки на ГПП (ПГВ) трансформаторов различной мощности. Расчет мощности трансформаторов, осуществляется с использованием

расчетной активной нагрузки и экономически целесообразной реактивной мощности  $P_p, Q_s = P_p * tg\varphi$ .

Потери мощности и энергии в трансформаторах рассчитываются по максимальной нагрузке предприятия. Время максимальных потерь  $\tau$  определяется по числу часов использования максимума нагрузки  $T_M$ , число часов работы предприятия (трансформаторов) в году можно рассчитать с использованием исходных данных контрольного задания №4

$$T_r = \alpha * T_M$$

Примеры выбора рациональной мощности трансформаторов представлены в /3,5/.

### Примеры решения

Рассчитать электрические нагрузки методом коэффициента расчётной нагрузки для выбора цеховых трансформаторов.

Таблица 1 – Исходные данные

Наименование электроприёмника	$P_{ном}$ , кВт	Количество ЭП, шт.
Токарно-револьверный	18	10
Токарно-винторезный	12	9
Горизонтально-расточный	42	5
Горизонтально-проточный	38	5
Токарно-винторезный	16	6
Горизонтально-фрезерный	26	5
Бесцентрово-шлифовальный	10	9
Точильно-шлифовальный	14	6
Вентустановка	16	4
Токарный с ЧПУ	44	8
Вертикально-фрезерный	15	4
Нагревательная электропечь	25	3
Электропечь	80	2
Шахтная электропечь	60	2
Электротермическая печь	30	1
Токарный полуавтомат	21,5	1
Шлифовальный	11,5	1
Вертикально-сверлильный	18	2
Плоскошлифовальный	17,5	1
Резьбонакатный	16,5	2
Токарно-винторезный	12	2
Круглошлифовальный	22,4	3

## Решение

Распределяем электроприемники на характерные категории по технологическому признаку и сходству режимов, распределение показано в таблице 2. По справочнику определяем значения коэффициента использования  $K_{и}$  и коэффициентов мощности  $\cos \varphi$ ,  $\operatorname{tg} \varphi$  и заносим их в графы 5 и 6 таблицы 2. В графах 7, 8 определяем средние активные и реактивные мощности каждой группы электроприемников характерной категории и самой категории в целом:

$$P_{cp\ i} = P_{ном\ i} \cdot K_{и}; \quad Q_{cp\ i} = P_{cp\ i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i;$$
$$P_{cp\Sigma} = \Sigma P_{cp\ i}; \quad Q_{cp.\Sigma} = \Sigma Q_{cp\ i}.$$

Определяем средневзвешенные  $K_{и}$  и  $\operatorname{tg} \varphi$  по характерным категориям и записываем их значения в графы 5 и 6 в итоговых строках:

$$K_{и\ ср} = P_{cp\Sigma} / P_{ном\Sigma}; \quad \operatorname{tg} \varphi_{ср} = Q_{cp.\Sigma} / P_{cp\Sigma}.$$

Определяем эффективное число электроприемников по выражению:

$$n_{э} = 2 \cdot P_{ном\Sigma} / P_{ном.\max}.$$

где  $P_{ном.\max}$  – наибольшая номинальная мощность электроприемника в характерной категории.

Значение  $n_{э}$  заносим в графу 9 в итоговую строку, если значение  $n_{э}$  превышает  $n_{ф}$ , то принимается  $n_{э} = n_{ф}$ .

Коэффициент расчетной нагрузки  $K_p$  определяется согласно «Указаний по расчету электрических нагрузок» по табл.2 в зависимости от средневзвешенного коэффициента использования и эффективного числа электроприемников  $K_p = f(K_{и.\ср}, n_{э})$ . Коэффициенты записываем в 10 графу.

Расчетную активная и реактивная мощность групп ЭП определяем по формулам, а результаты вносим в итоговые строки граф 11, 12.

$$P_p = K_p \cdot P_{cp}; \quad Q_p = K_p \cdot Q_{cp}.$$

Определяем максимальную расчетную нагрузку (активную и реактивную) для состава электроприемников цеха:

$$P_{цеха.\Sigma} = \Sigma P_{p.i}; \quad Q_{цеха.\Sigma} = \Sigma Q_{p.i}.$$

Полученные данные заносим в строку «Общий итог».

Таблица – Расчет электрических нагрузок (форма Ф6336–90)

Исходные данные				Средняя мощность группы ЭП		n <sub>э</sub>	K <sub>р</sub>	Расчетная мощность			
По заданию			По справочным данным		P <sub>ср</sub> , кВт			Q <sub>ср</sub> , квар	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	
Характерные категории ЭП, подключаемых к узлу питания	Кол-во ЭП n <sub>ф</sub>	Номинальная мощность, кВт		K <sub>и</sub>		cosφ/tgφ					
		одного ЭП	общая								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Токарно-винторезный	9	12	108	0,14	0,5/1,732	15,12	26,19				
Токарно-винторезный	6	16	96			13,44	23,28				
Горизонтально-фрезерный	5	26	130			18,2	31,52				
Бесцентрово-шлифовальный	9	10	90			12,6	21,82				
Точильно-шлифовальный	6	14	84			11,76	20,37				
Вертикально-фрезерный	4	15	60			8,4	14,55				
Токарный полуавтомат	1	21,5	21,5			3,01	5,21				
Шлифовальный	1	11,5	11,5			1,61	2,79				
Вертикально-сверлильный	2	18	36			5,04	8,73				
Плоскошлифовальный	1	17,5	17,5			2,45	4,24				
Резьбонакатный	2	16,5	33			4,62	8				
Токарно-винторезный	2	12	24			3,36	5,82				
Круглошлифовальный	3	22,4	67,2			9,41	16,3				
Токарно-револьверный	10	18	180			36	42,08				
Горизонтально-расточный	5	42	210	0,2	0,65/1,169	42	49,1				
Горизонтально-проточный	5	38	190			38	44,42				
Токарный с ЧПУ	8	44	352	0,6	0,7/1,02	211,2	215,42				
<b>Итого</b>	<b>79</b>	<b>10–44</b>	<b>1710,7</b>	<b>0,25</b>	<b>1,238</b>	<b>436,22</b>	<b>539,84</b>	<b>78</b>	<b>0,675</b>	<b>294,4</b>	<b>364,4</b>

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Нагревательная электропечь	3	25	75	0,8	0,98/0,203	60	12,18				
Электропечь	2	80	160			128	25,98				
Шахтная электропечь	2	60	120			96	19,49				
Электротермическая печь	1	30	30			24	4,87				
<b>Итого</b>	<b>8</b>	<b>25–80</b>	<b>385</b>	<b>0,8</b>	<b>0,203</b>	<b>308</b>	<b>62,52</b>	<b>8</b>	<b>0,91</b>	<b>280,3</b>	<b>56,9</b>
Вентустановка	4	16	64	0,8	0,8/0,75	51,2	38,4	4	0,97	49,7	37,2
<b>Общий итог</b>										<b>624,4</b>	<b>458,5</b>



### Задача

Определить расчетную нагрузку (активную, реактивную, полную) для состава электроприемников цеха.

Расчет электрических нагрузок произвести методом упорядоченных диаграмм (по коэффициентам использования и коэффициента расчетной нагрузки) и методом коэффициента спроса. При расчете методом упорядоченных диаграмм эффективное число электроприемников  $n_e$  определять по точной формуле и по указаниям.

Рассчитать погрешность при расчете электрических нагрузок методом коэффициента спроса по сравнению с методом упорядоченных диаграмм

Исходные данные:

№№	Наименование электроприемника и механизма, номинальное напряжение, режим работы	Мощ-ть одного ЭП (кВт)	Кол-во ЭП (шт)
1	Металлообрабатывающие станки $U_n = 380 \text{ В}$	19	21
2	Печи электронагревательные Однофазные, $U_n = 220 \text{ В}$	34	3
3	Прессы, $U_n = 380 \text{ В}$	17	15
4	Ковочные машины, $U_n = 380 \text{ В}$	23	7
5	Краны, ПВ = 25%, $U_n = 380 \text{ В}$	16+2,2+11	2
6	Вентиляторы, $U_n = 380 \text{ В}$	7,5	4
7	Транспортеры, $U_n = 380 \text{ В}$	12	2
8	Насосы, $U_n = 380 \text{ В}$	105	2

Примечание: Значение коэффициентов мощности, использования, спроса принимать по справочным данным.

1. Определение электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм.

В качестве исходных данных по справочнику /1/ стр.781 выбираем значения коэффициентов использования и  $\text{tg}(\varphi)$  для электроприемников и занесем их в таблицу 1.

Разобьем электроприемники на две характерные группы с  $K_{и} < 0,2$  и с  $K_{и} \geq 0,2$ .

Согласно задания в цехе находятся специфические ЭП: однофазные печи и краны.

Поэтому однофазные электронагревательные печи должны быть приведены к трехфазной нагрузке, а краны к длительному режиму с ПВ=100%.

Приведем однофазную нагрузку к трехфазной.

Распределим однофазную нагрузку ( $U_n = 220 \text{ В}$ ) по фазам.

A:  $1 \times 34 \text{ кВт}$

B:  $1 \times 34 \text{ кВт}$

C:  $1 \times 34 \text{ кВт}$

Ввиду того, что в нашем случае задан идеальный случай распределения нагрузки, не необходимости определения неравномерности распределения мощностей ЭП по фазам.

Приведем крановую нагрузку к ПВ = 100%. Согласно ПУЭ не допускается работа более двух двигателей.

Суммарная номинальная мощность крана при фактическом ПВ = 25 %

$$P_{\text{ном}\Sigma} = 16 + 11 = 27 \text{ кВт}$$

Суммарная приведенная к ПВ = 100 %

$$P_{\text{номПВ=100\%}} = P_{\text{ном}\Sigma} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 27 \cdot \sqrt{0,25} = 13,5 \text{ кВт}$$

Определим средние мощности и занесем в таблицу 1

$$P_{\text{ср}} = \sum_1^n K_{u_i} \cdot P_{\text{ном}i}$$

$$Q_{\text{ср}} = \sum_1^n K_{u_i} \cdot P_{\text{ном}i} \cdot \text{tg}\varphi_i$$

Определим эффективное число электроприемников

$$n_э = \frac{2 \cdot \sum_1^n P_{номi}}{P_{номmax}}$$

где  $P_{номmax}$  – номинальная мощность наиболее мощного ЭП группы. Если  $n_э > n$ , то принимаем  $n_э = n$ ,

где  $n$  – фактическое число ЭП.

Определим средневзвешенный коэффициент использования

$$K_{и_{ср}} = \frac{\sum P_{ср}}{\sum P_{ном}}$$

Определим коэффициент расчетной нагрузки в зависимости от  $K_{и_{ср}}$  и  $n_э$ .  
Для распределительных сетей до 1 кВ  $K_p$  принимается по таблице «Указаний по расчету электрических нагрузок 1990»

Определим расчетную активную и реактивную мощность:

$$P_p = K_p \cdot P_{ср}$$

$$\text{при } n_э \leq 10 \text{ и } K_p \geq 1 \quad Q_p = 1,1 \cdot Q_{ср}$$

$$\text{при } n_э > 10 \text{ и } K_p \geq 1 \quad Q_p = Q_{ср}$$

$$\text{Полная мощность} \quad S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$$

Таблица. Расчет методом упорядоченных диаграмм

Группа	Электроприемники	$P_{уст}$ кВт	п шт	$P_{\Sigma}$ кВт	$K_{и}$	$\cos\varphi/tg\varphi$	$P_{ср}$ кВт	$Q_{ср}$ кВт	$n_{э}$ шт	$K_p$	$P_p$ кВт	$Q_p$ кВт	$S_p$ кВт
1	Печи Эл.нагревательные	34	3	102	0,75	0,9/ 0,32	76,5	24,5	2	1,14	87	27	91
	Насосы	105	2	210	0,7	0,8/ 0,75	147	110,3	2	1,14	168	121,3	207,2
	Ковочные машины	23	7	161	0,2	0,65/ 1,33	32,2	42,8	7	1,54	50	47	68,6
	Вентиляторы	7,5	4	30	0,65	0,8/ 0,75	19,5	14,6	2	1,33	26	16	30,5
	Транспортеры	12	2	24	0,4	0,75/ 0,88	9,6	8,4	2	2	19	9,2	21
итого		181,5	18	527			284,8	200,6	15		350	220,5	418,3
2	Краны	13,5	2	27	0,05	0,5/ 1,73	1,35	2,3	2	8	11	2,5	11,3
	Металлообрабатывающие станки	19	21	399	0,16	0,5/ 1,33	63,84	84,9	21	1,33	85	63,8	106,3
	Прессы	17	15	255	0,17	0,65/ 1,33	43,35	57,7	15	1,46	63	57,7	85,4
итого		49,5	38	681			108,5	144,9	38		159	124	203
Итого по цеху		231	56	1208			393,3	345,4	53		509	344,5	621,3

2. Определение электрических нагрузок методом коэффициента спроса.

Расчетная нагрузка для группы однородных по режиму работы приемников определяется из следующих выражений

$$P_p = K_c \cdot P_{\text{ном}\Sigma}$$

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi$$

Таблица 2. Расчет методом коэффициента спроса

№№	Электроприемники	$P_{\text{ном}\Sigma}$ кВт	$K_c$	$P_p$ кВт	$Q_p$ кВт	$S_p$ кВт
1	Металлообрабатывающие станки	399	0,2	79,8	106	132,7
2	Печи эл.нагревательные	103	0,8	82,4	26,4	86,5
3	Прессы	255	0,25	63,8	84,9	106,2
4	Ковочные машины	161	0,35	56,4	75	93,8
5	Краны	27	0,1	2,7	4,7	5,4
6	Вентиляторы	30	0,7	21	15,8	26,3
7	Транспортеры	24	0,5	12	10,6	16
8	Насосы	210	0,75	157,5	118	196,8
Итого по цеху		1208		475,6	441,4	663,7

Погрешность при расчете электрических нагрузок методом коэффициента спроса по сравнению с методом упорядоченных диаграмм составляет

$$\Delta = \frac{|621,3 - 663,7|}{621,3} \cdot 100\% = 6,8\%$$

Метод упорядоченных диаграмм является основным методом расчета электрических нагрузок. Менее трудоемким и менее точным методом определения расчетной нагрузки является метод коэффициента спроса.

## Задача

Определить расчетную нагрузку участка цеха с электросварочными установками

Исходные данные:

№	Наименование сварочных установок, номинальное напряжение, режим работы	Мощ-ть одного ЭП (кВт)	Кз	Кол-во шт
1	Точечные, $\cos\varphi = 0,55$ , ПВ = 20%, $U_H = 380$ В	100	0,8	5
2	Рельефные автоматические, $\cos\varphi = 0,5$ , ПВ = 100%, $U_H = 380$ В	80	0,7	2
3	Шовные роликовые, $\cos\varphi = 0,35$ , ПВ = 65%, $U_H = 380$ В	20	0,65	14
4	Стыковые, $\cos\varphi = 0,55$ , ПВ = 20%, $U_H = 380$ В	30	0,6	6

Примечание: каждый тип сварочных установок считать подключенным к одному шинопроводу.

Расчет ЭМ контактной сварки. Приведем ПВ к 100%.

$$P_{100\%(1)} = S\sqrt{ПВ} \cdot \cos\varphi = 100\sqrt{0,2} \cdot 0,55 = 24,6 \text{ кВт}$$

$$P_{100\%(2)} = S\sqrt{ПВ} \cdot \cos\varphi = 80\sqrt{1} \cdot 0,5 = 40 \text{ кВт}$$

$$P_{100\%(3)} = S\sqrt{ПВ} \cdot \cos\varphi = 20\sqrt{0,65} \cdot 0,35 = 5,6 \text{ кВт}$$

$$P_{100\%(4)} = S\sqrt{ПВ} \cdot \cos\varphi = 30\sqrt{0,2} \cdot 0,55 = 7,6 \text{ кВт}$$

Распределяем потребителей по фазам

$$AB: 24,6 + 24,6 + 24,6 + 24,6 + 5,6 + 5,6 = 109,6 \text{ кВА}$$

$$BC: 5,6 \cdot 11 + 7,6 \cdot 6 = 107,2 \text{ кВА}$$

$$CA: 40 + 40 + 24,6 + 5,6 = 110,2 \text{ кВА}$$

Наиболее загруженная фаза – СА.

$$\frac{CA + BC}{2} = \frac{110,2 + 107,2}{2} = 108,7 \text{ кВА}$$

Из справочника найдем коэффициент загрузки и коэффициент включения и через эти параметры вычислим коэффициент использования.

$$K_u = K_3 K_6$$

Точечные –  $K_u = 0,03 \cdot 0,5 = 0,02$

Рельефные -  $K_u = 0,7 \cdot 0,07 = 0,05$

Шовные -  $K_u = 0,7 \cdot 0,5 = 0,35$

Стыковые -  $K_u = 0,3 \cdot 0,3 = 0,09$

$$P_{cp.m(c)} = 5,6_{BC(c)} \cdot 0,35 \cdot 11 + 0,09 \cdot 6 \cdot 7,6_{BC(c)} + \\ + 2 \cdot 0,05 \cdot 40_{CA(c)} + 0,02 \cdot 24,6_{CA(c)} + 5,6_{CA(c)} \cdot 0,35 = 32 \text{ кВт}$$

$$Q_{cp.m(c)} = 5,6_{BC(c)} \cdot 0,35 \cdot 11 \cdot 0,65 + 0,09 \cdot 6 \cdot 7,6_{BC(c)} \cdot 0,6 + \\ + 2 \cdot 0,05 \cdot 0,7 \cdot 40_{CA(c)} + 0,02 \cdot 0,8 \cdot 24,6_{CA(c)} + 5,6_{CA(c)} \cdot 0,35 \cdot 0,65 = 20,9 \text{ квар}$$

$$P_{cp.m_y} = P_{cp.m} \cdot 3 = 32 \cdot 3 = 96 \text{ кВт}$$

$$Q_{cp.m_y} = Q_{cp.m} \cdot 3 = 20,9 \cdot 3 = 62,7 \text{ квар}$$

$$n_3 = \frac{2 \sum P_{ном}}{P_{ном, max}} = \frac{24,6 \cdot 5 + 40 \cdot 2 + 5,6 \cdot 14 + 7,6 \cdot 6}{40} = 8,2 \approx 8$$

Находим коэффициент использования

$$K_{u,a} = \frac{2 \cdot P_{cp.m(c)}}{\sum P_{ном}} = \frac{32 \cdot 2}{40 \cdot 2 + 24,6 + 5,6} = 0,58$$

Из таблицы РУ определим  $K_p = 0,9$

$$P_p = 0,9 \cdot 32 = 28,8 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 0,9 \cdot 20,9 = 18,8 \text{ квар}$$

Расчетный ток равен

$$I_p = \frac{S_p}{U_{ном} \sqrt{3}} = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{U_{ном} \sqrt{3}} = \frac{\sqrt{28,8^2 + 18,8^2}}{0,38 \sqrt{3}} = 52,25 \text{ А}$$

При отсутствии паспортных данных  $S_H = 3 \cdot P_{ном} = 3 \cdot 100 = 300 \text{ кВА}$

$$\text{Пусковой ток равен } i_{n, max} = \frac{S_H}{U_{ном} \sqrt{3} \cdot K_n} = \frac{300}{0,38 \sqrt{3} \cdot 3} = 151,9 \text{ А}$$

### Задача.

Разработать систему внутреннего электроснабжения предприятия:

1. Рассчитать электрические нагрузки;
2. Выбрать число и мощность трансформаторов КТП для первых трёх цехов;
3. Осуществить компенсацию реактивной мощности для указанных цехов;
4. Разработать схему электроснабжения для указанных цехов. Выбрать сечения КЛ и условия прокладки.

Напряжение низкой стороны трансформаторов ИП или генераторов ТЭЦ принять 10 кВ.

Таблица – Электрические нагрузки цехов

Наименование цеха	Установленная мощность, кВт
Главный конвейер и цех шасси	1450
Моторный цех	1300
Прессово-кузовной цех	800

### Решение

Определяем среднюю мощность каждого цеха:  $P_{cp} = K_{и} \cdot P_{уст}$ ;  $Q_{cp} = P_{cp} \cdot \operatorname{tg} \varphi$ ;

$$P_{cp1} = 0,6 \cdot 1450 = 870 \text{ кВт}; \quad Q_{cp1} = 870 \cdot 1 = 870 \text{ квар};$$

$$P_{cp2} = 0,06 \cdot 1300 = 78 \text{ кВт}; \quad Q_{cp2} = 78 \cdot 1,98 = 154,4 \text{ квар};$$

$$P_{cp3} = 0,35 \cdot 800 = 280 \text{ кВт}; \quad Q_{cp3} = 280 \cdot 1,17 = 327,6 \text{ квар}.$$

Определяем суммарные средние мощности:

$$P_{cp\Sigma} = 870 + 78 + 280 = 1228 \text{ кВт}; \quad Q_{cp\Sigma} = 870 + 154,4 + 327,6 = 1352 \text{ квар}.$$

Расчётная нагрузка предприятия с учётом коэффициента одновременности нагрузок:

$$P_p = K_o \cdot K_p \cdot P_{cp\Sigma} = 1 \cdot 1 \cdot 1228 = 1228 \text{ кВт}; \quad Q_p = 1 \cdot 1 \cdot 1352 = 1352 \text{ квар}.$$

Выбираем силовые трансформаторы ГПП:  $S_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{N_T \cdot K_{загр.опт}}$ ;

$$Q_3 = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_3 = 1228 \cdot 0,25 = 307 \text{ квар};$$



$$S_p = \frac{\sqrt{1228^2 + 307^2}}{2 \cdot 0,7} = 904 \text{ кВА}; \text{ выбираем трансформаторы ТМН-1000/35.}$$

Так как в рассматриваемых цехах имеется только низковольтная нагрузка, то для схемы внутреннего электроснабжения принимаем номинальное напряжение 10 кВ.

Выбор числа и мощности силовых трансформаторов КТП.

Принимаем, что на каждой КТП устанавливается по 2 трансформатора, т.к. рассматриваемые цеха относятся ко 2 категории по надёжности электроснабжения, тогда можно определить расчётную мощность трансформатора и выбрать номинальную:  $S_{\text{расч.тр}} = \frac{P_p}{K_3 \cdot N_T}$ ;

$$S_{\text{расч.тр1}} = \frac{870}{0,7 \cdot 2} = 621 \text{ кВА}, \text{ принимаем трансформаторы ТМН-630/10};$$

$$S_{\text{расч.тр2}} = \frac{78}{0,7 \cdot 2} = 56 \text{ кВА}, \text{ принимаем трансформаторы ТМ-63/10};$$

$$S_{\text{расч.тр3}} = \frac{280}{0,7 \cdot 2} = 200 \text{ кВА}, \text{ принимаем трансформаторы ТМ-250/10.}$$

Определяем реактивную мощность, которую целесообразно передать через силовые трансформаторы из сети 10 кВ в сеть 0,4 кВ:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot S_{\text{тр.ном}} \cdot K_3)^2 - P_p^2}; \quad Q_{T1} = \sqrt{(2 \cdot 630 \cdot 0,7)^2 - 870^2} = 145 \text{ квар};$$

$$Q_{T2} = \sqrt{(2 \cdot 63 \cdot 0,7)^2 - 78^2} = 41 \text{ квар}; \quad Q_{T3} = \sqrt{(2 \cdot 250 \cdot 0,7)^2 - 280^2} = 210 \text{ квар.}$$

Находим суммарную мощность низковольтных компенсирующих установок (НКУ) для каждой рассматриваемой группы силовых трансформаторов:  $Q_{\text{НКУ1}} = Q_p - Q_T$ ;

$$1 \text{ цех: } Q_{\text{НКУ1}} = 870 - 145 = 725 \text{ квар};$$

$$2 \text{ цех: } Q_{\text{НКУ1}} = 154,4 - 41 = 113,4 \text{ квар};$$

$$3 \text{ цех: } Q_{\text{НКУ1}} = 327,6 - 210 = 117,6 \text{ квар.}$$

Определяем суммарную мощность НКУ, исходя из экономии электроэнергии, т.е. из минимума потерь электроэнергии в распределительной сети:  $Q_{\text{НКУ}2} = Q_{\text{P}} - Q_{\text{НКУ}1} - \gamma \cdot N_{\text{T}} \cdot S_{\text{T.ном}}$ ;

Расчётный коэффициент  $\gamma$  зависит от схемы питания цеховых подстанций и вспомогательных показателей  $K_1$  и  $K_2$ , которые определяем по таблицам 2.190 и 2.191 справочника по проектированию электроснабжения под редакцией Барыбина Ю. Г.:  $K_1=9$ ,  $K_2=2$ . По рис. 2.132 нашли, что  $\gamma=0,45$ , тогда для каждого из цехов имеем:

$$1 \text{ цех: } Q_{\text{НКУ}2} = 870 - 725 - 0,45 \cdot 2 \cdot 630 = -422 \text{ квар};$$

$$2 \text{ цех: } Q_{\text{НКУ}2} = 154,4 - 113,4 - 0,45 \cdot 2 \cdot 63 = -15,7 \text{ квар};$$

$$3 \text{ цех: } Q_{\text{НКУ}2} = 327,6 - 117,6 - 0,45 \cdot 2 \cdot 250 = -15 \text{ квар}.$$

Так как для каждого из цехов значения  $Q_{\text{НКУ}2}$  получились отрицательными, то не требуется установка дополнительных КУ для снижения потерь электроэнергии.

Найдём суммарную мощность НКУ по всему предприятию:

$$Q_{\text{НКУ}\Sigma} = 725 + 113,4 + 117,6 = 956 \text{ квар}.$$

Определяем тип и мощность батарей конденсаторов:

1 цех:  $Q_{\text{НКУ}} = 725$  квар, принимаем две комплектные конденсаторные установки (ККУ): УКЛН0,38–450–150У3 и УКЛН–0,38–300–150У3;

2 цех:  $Q_{\text{НКУ}1} = 113,4$  квар, принимаем две ККУ: УК2–0,38–50 У3 и УК3–0,38–75 У3;

3 цех:  $Q_{\text{НКУ}1} = 117,6$  квар, принимаем две ККУ: УК2–0,38–50 У3 и УК3–0,38–75 У3.

Определяем место расположения ГПП по условному центру нагрузок, координаты которого найдём по формулам:  $X_{\text{ц}} = \frac{\sum P_i X_i}{\sum P_i}$ ;  $Y_{\text{ц}} = \frac{\sum P_i Y_i}{\sum P_i}$ .

Координаты  $X_i$  и  $Y_i$  определяем по расположению цехов, показанному на рисунке 1.

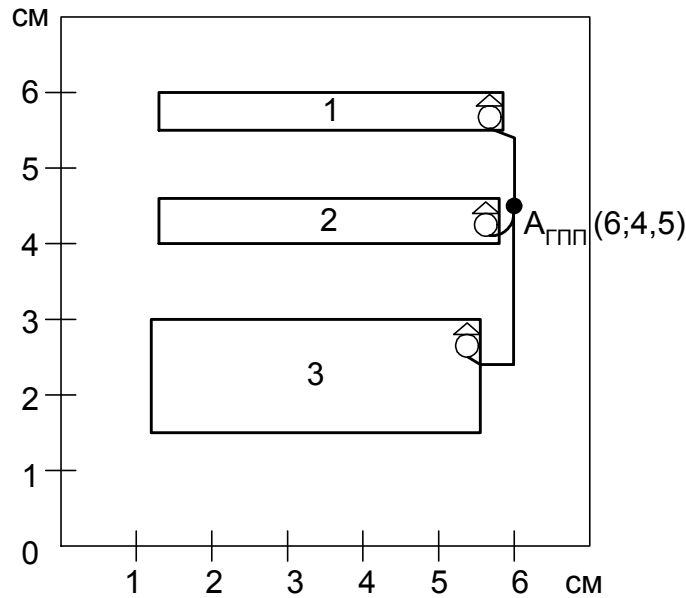


Рисунок 1 – Расположение цехов (масштаб: 1 см=36,4 м)

$$X_{ц} = \frac{870 \cdot 5,7 + 78 \cdot 5,7 + 280 \cdot 5,4}{870 + 78 + 280} = 5,6 \text{ см}; \quad Y_{ц} = \frac{870 \cdot 5,5 + 78 \cdot 4 + 280 \cdot 2,5}{870 + 78 + 280} = 4,7 \text{ см.}$$

Расположение ГПП показываем на рисунке 1 (точка А).

Электрическую схему внутреннего электроснабжения для трёх цехов приводим на рисунке 2.

Сечения кабельных линий будем выбирать по нагреву током нагрузки. Покажем выбор сечения КЛ для питания главного конвейера и цеха шасси.

Определяем ток нагрузки, текущий по одному кабелю от ГПП к ТП-1:

$$I_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{P_{\text{пл}}^2 + Q_{\text{нескл}}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot 2} = \frac{\sqrt{870^2 + 120^2}}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 25,4 \text{ А,}$$

здесь  $Q_{\text{нескл}} = Q_{\text{пл}} - Q_{\text{ККУ1}} = 870 - 750 = 120$  квар.

Максимальный ток нагрузки, текущий по КЛ от ГПП к ТП-1 (при отключении второго кабеля):  $I_{\text{max, расч}} = 2 \cdot 25,4 = 50,8$  А. По данному току выбираем кабель с алюминиевыми жилами марки ААШв(3×16) с длительно допустимым током 95 А. Принято, что кабель прокладывается в кабельных каналах.

Выбранный кабель необходимо проверить по потерям напряжения, которые не должны превышать допустимые, и по термической стойкости при КЗ (по нагреву от кратковременного выделения теплоты при токах КЗ).

Потери напряжения в общем случае:  $\Delta U = \frac{P \cdot r + Q \cdot x}{U_{\text{ном}}}$ .

Принятое сечение должно превышать минимальное сечение по условию

термической стойкости:  $F_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T} \leq q$ , где  $B_k$  – тепловой импульс;  $C_T$  –

термический коэффициент для кабелей, зависящий от материала проводника.

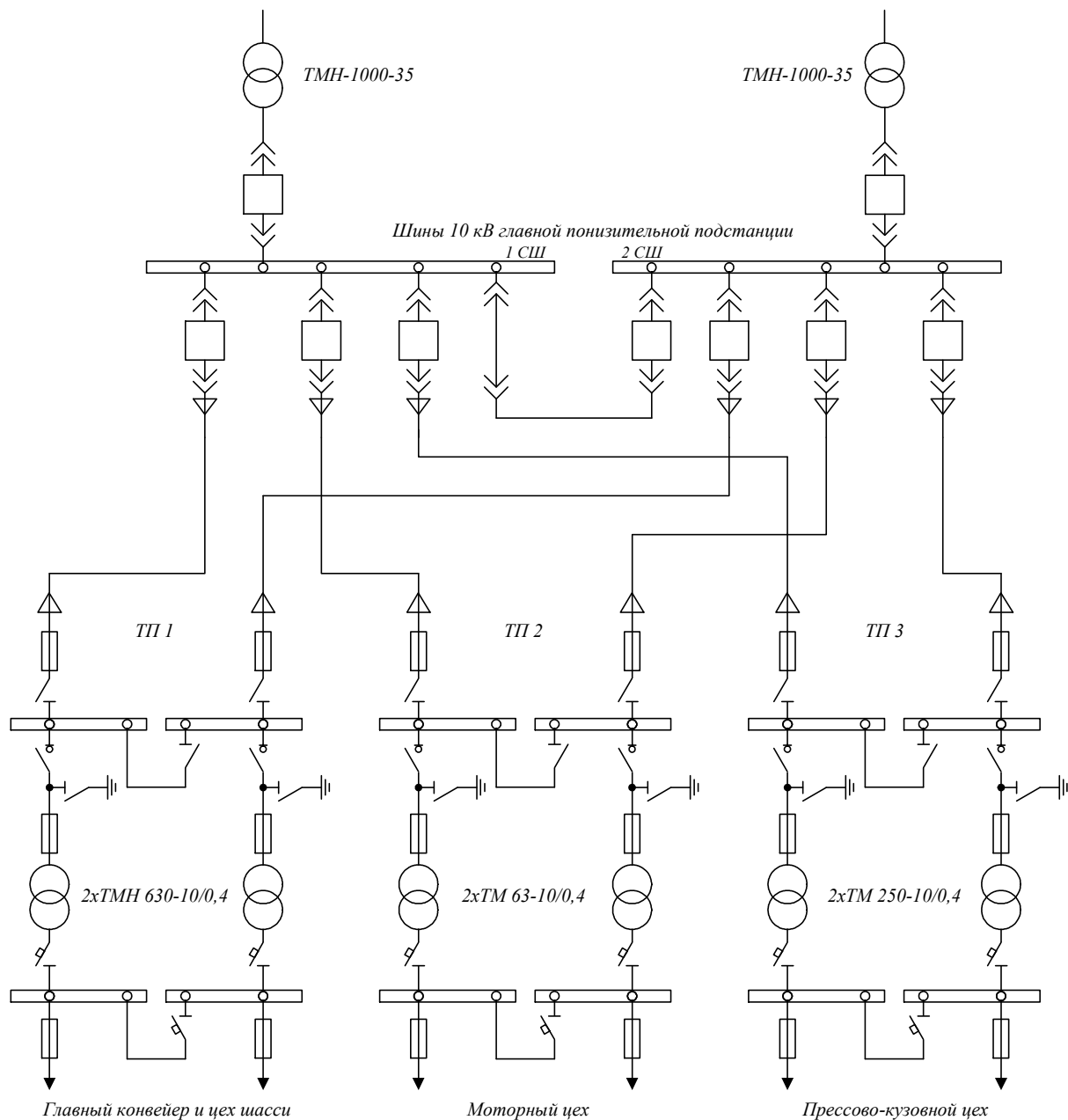


Рисунок – Схема внутреннего электроснабжения

## Задача

Предварительно определив рациональное напряжение, рассчитать экономически целесообразное сечение проводов питающей сети предприятия

Исходные данные:

- Максимальная активная нагрузка предприятия (МВт) 24
- Средневзвешенное значение коэффициента мощности  $\cos\varphi_{с.в.}$  0,9
- Протяженность воздушной ЛЭП  $L$  (км) 5
- Число использования максимума нагрузки  $T_m$  (ч) 4000
- Состав нагрузки по категориям надежности электроснабжения (% от  $P_m$ )

1 категория	14
2 категория	25
3 категория	61
- Стоимость потерь мощности  $C_0$  (коп/кВт.час) 0,8

Нестандартное рациональное напряжение питающей сети рассчитаем по формуле С.Н.Никогосова /4/ стр183.

$$U = 4.34 \sqrt{l + \frac{16P}{n}} = 4.34 \sqrt{5 + \frac{16 \cdot 24}{2}} = 61 \text{ кВ}$$

Примем ближайшее к расчетному стандартное напряжение  $U = 110$  кВ.

Для потребителей 1 категории с целью обеспечения требуемой бесперебойности питания принимаем двухцепную воздушную линию напряжением 110 кВ.

Определяем расчетные токи в нормальном и аварийном режимах

$$I_P = \frac{S_P}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{24000}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 63 \text{ А}$$

$$I_{P_{MAX}} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{24000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 126 \text{ А}$$

Сечение проводов воздушных ЛЭП рассчитываются в соответствии с требованиями ПУЭ/5/ стр 39,  $S = \frac{I_{\text{PMAH}}}{J_{\text{ЭК}}}$ ; мм<sup>2</sup>

где:  $I_{\text{PMAH}}$  – расчетный максимальный ток, А

$J$  – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup>, для заданных условий работы /5/ таб.1.3.36

$$S = \frac{126}{1,1} = 115 \text{ мм}^2$$

По справочным данным /2/ стр338, выбираем провод АС120.

Выбранное сечение провода должно быть проверено по допустимой токовой нагрузке по нагреву

$$I_{\text{PMAH}} \leq I_{\text{ДОП}} ; 126 \text{ А} \leq 390 \text{ А}$$

где  $I_{\text{ДОП}}$  – допустимые длительные токовые нагрузки /6/ стр292 таб 7.12

По условиям коронирования проверяется минимально допустимое сечение провода. Для ВЛ 110 кВ минимальное сечение по условиям короны  $70 \text{ мм}^2 < 120 \text{ мм}^2$ .

Проверке по допустимым потерям и отклонениям напряжения ВЛ 35 кВ и выше не подлежат /6/стр160.

Нахождение экономически целесообразного сечения по трем стандартным сечениям. Примем для сравнения следующие стандартные сечения провода;  $120 \text{ мм}^2$ ,  $150 \text{ мм}^2$ ,  $185 \text{ мм}^2$ , /2/стр.61,338. Определим затраты на строительство и эксплуатационные расходы для ВЛ.

где  $K_3$  – коэффициент загрузки  $K_3 = I_p(A) / I_{\text{дл}}(A)$ ,

$\Delta P_{\text{д}}$  – потери при действительной нагрузке,

$$\Delta P_{\text{д}} = \Delta P \cdot K_3^2$$

$\Delta \text{Э}_{\text{а}2}$  – потери энергии в линии,  $\Delta \text{Э}_{\text{а}2} = \Delta P_{\text{д}} \cdot T_{\text{м}}$

$S_{\text{п}2}$  – стоимость потерь в линии,  $S_{\text{п}2} = \Delta \text{Э}_{\text{а}2} \cdot C_0$

$K$  – капитальные вложения на сооружение линий,

$S_{\text{а}2}$  – ежегодные амортизационные отчисления,  $S_{\text{а}2} = K \cdot K_{\text{а}}$

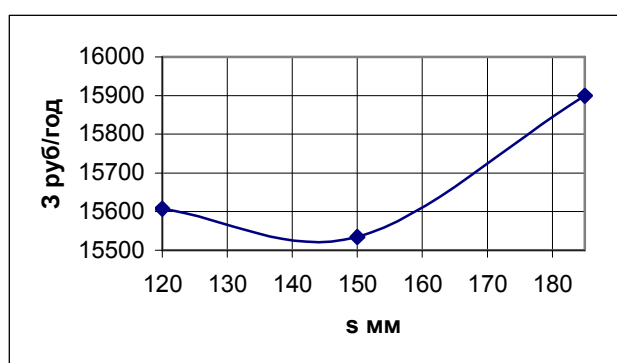
$K_{\text{а}}$  – коэффициент амортизационных отчислений

$C_{э2}$  – годовые эксплуатационные расходы,  $C_{э2} = C_{п2} + C_{а2}$

$Z$  – приведенные затраты на линию,  $Z = 0,125 \cdot K + C_{э2}$

$s$ , мм <sup>2</sup>	$\Delta P$ , кВт	$I_{дл}$ , А	$K_3$	$\Delta P_{д}$ , кВт	$K$ , т.руб	$C_{п2}$ , руб/г	$C_{а2}$ , руб/г	$C_{э2}$ , руб/г	$Z$ руб/г
120	700	380	0,33	76	85	2432	2550	4982	15607
150	745	445	0,28	58	88,25	1856	2648	4504	15535
185	805	510	0,25	50	92,25	1600	2768	4368	15899

Построим зависимость  $Z=f(s)$ .



При выраженном минимуме зависимости экономически целесообразное нестандартное сечение определим по трем точкам в соответствии с формулой

$$S_{эц} = \frac{s_1 + s_2}{2} - \frac{\Delta' s_1}{2\delta}$$

где  $s_2$  – стандартное сечение линии, имеющей минимальные приведенные затраты;  $s_1, s_3$  – стандартные ближайшие сечения линий

$$\Delta s_1 = s_2 - s_1; \quad \Delta s_2 = s_3 - s_2; \quad \Delta' s_1 = s_3 - s_1; \quad \Delta Z_1 = Z_2 - Z_1; \quad \Delta Z_2 = Z_3 - Z_2;$$

$$\delta = \frac{\Delta Z_2 \cdot \Delta s_1}{\Delta Z_1 \cdot \Delta s_2} - 1; \quad S_{эц} = \frac{120 + 150}{2} - \frac{65}{2 \cdot (-5,33)} = 141 \text{ мм}^2$$

По  $S_{эц}$  принимаем ближайшее стандартное сечение  $S_{эц} = 150 \text{ мм}^2$ , которое не превышает сечение выбранное по техническим условиям.

## Задача

Выбрать экономически целесообразное напряжение и схему распределительной сети

- Суммарная расчетная мощность электродвигателей напряжением 6 кВ  
 $S_{\Sigma ДВ}$  МВА 1
- Средняя протяженность кабельной распределительной сети при радиальной схеме  $l_{СР.Р}$ , км 0,3
- Средняя протяженность кабельной распределительной сети при схеме двойной магистрали  $l_{СР.М}$ , км 0,7
- Отношение часов работы предприятия в году (Тг-8760ч) к числу часов использования максимума нагрузки (Тм)  $\alpha$   
1,4

Сведения о нагрузке предприятия, стоимости потерь мощности число часов использования максимума нагрузки принять по исходным данным контрольного задания №3. Считать электродвигатели напряжением 6 кВ, отнесенным к электроприемникам 1 категории по бесперебойности электроснабжения, их нагрузку – включенной в расчетную нагрузку предприятия.

Определим рациональное напряжение при радиальной схеме. Преобразуем натуральные значения факторов в кодированные используя

$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\Delta X_i}$  и данные /4/стр200 таб.7.3 . **Фактор x1** суммарная нагрузка на

шинах ГПП

$$x_1 = \frac{24000 - 30000}{20000} = -0,3$$

**Фактор x2** средняя длина кабельной линии

$$x_2 = \frac{0,3 - 0,6}{0,4} = -0,75$$

**Фактор x3** стоимость потерь электроэнергии



$$x_3 = \frac{70 - 70}{30} = 0$$

**Фактор  $x_3$**  отношение нагрузки двигателей ко всей нагрузке предприятия

$$\beta = \frac{1000}{24000 + 1000} \cdot 100\% = 4\%$$

$$x_4 = \frac{4 - 6}{4} = -0,5$$

Подставим найденные значения факторов в формулу

$$\begin{aligned} U_{РАЦ} &= 7,59 + 0,74 \cdot x_1 + 1,21 \cdot x_2 + 0,27 \cdot x_3 - 1,18 \cdot x_4 + 0,61 \cdot x_1 \cdot x_2 + \\ &+ 0,22 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,2 \cdot x_2 \cdot x_4 = 7,59 + 0,74 \cdot (-0,3) + 1,21 \cdot (-0,75) + 0,27 \cdot 0 - \\ &- 1,18 \cdot (-0,5) + 0,61 \cdot (-0,3) \cdot (-0,75) + 0,22 \cdot (-0,75) \cdot 0 + \\ &+ 0,2 \cdot (-0,75) \cdot (-0,5) = 7,26 \text{ кВ} \end{aligned}$$

Для определения стандартного рационального напряжения рассчитаем годовые затраты для ближайшего большего и ближайшего меньшего стандартного напряжения.

$$\begin{aligned} Z_{\Sigma 6} &= 87,33 + 42,43 \cdot x_1 + 10,93 \cdot x_2 + 12,37 \cdot x_3 - 2,13 \cdot x_4 + 5,99 \cdot x_1 \cdot x_2 + \\ &+ 7,71 \cdot x_1 \cdot x_3 = 87,33 + 42,43 \cdot (-0,3) + 10,93 \cdot (-0,75) + 12,37 \cdot 0 - \\ &- 2,13 \cdot (-0,5) + 5,99 \cdot (-0,3) \cdot (-0,75) + 7,71 \cdot (-0,3) \cdot 0 = 66,12 \text{ т.руб/год} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{\Sigma 10} &= 87,15 + 41,20 \cdot x_1 + 8,27 \cdot x_2 + 11,95 \cdot x_3 + 3,88 \cdot x_1 \cdot x_2 + \\ &+ 7,43 \cdot x_1 \cdot x_3 = 87,15 + 41,20 \cdot (-0,3) + 8,27 \cdot (-0,75) + 11,95 \cdot 0 + \\ &+ 3,88 \cdot (-0,3) \cdot (-0,75) + 7,43 \cdot (-0,3) \cdot 0 = 69,46 \text{ т.руб/год} \end{aligned}$$

Рациональным стандартным напряжением для данной системы электроснабжения является напряжение 6 кВ.

Определим рациональное напряжение по схеме двойной магистрали. При этом значения факторов, кроме  $x_2$ , сохраняются неизменными

**Фактор  $x_2$**  средняя длина кабельной линии

$$x_2 = \frac{0,7 - 0,6}{0,4} = 0,25$$

**Фактор x5** – неравномерность графика электрических нагрузок

$$x_5 = \frac{1,4 - 1,3}{0,1} = 1$$

Подставим найденные значения факторов в формулу

$$U_{РАЦ} = 8,07 + 0,92 \cdot x_1 + 1,45 \cdot x_2 + 0,37 \cdot x_3 - 1,33 \cdot x_4 - 0,14 \cdot x_5 + 0,67 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,20 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,24 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,29 \cdot x_2 \cdot x_4 = 8,07 + 0,92 \cdot (-0,3) + 1,45 \cdot 0,25 + 0,37 \cdot 0 - 1,33 \cdot (-0,5) - 0,14 \cdot 1 + 0,67 \cdot (-0,3) \cdot 0,25 + 0,20 \cdot (-0,3) \cdot 0 + 0,24 \cdot 0,25 \cdot 0 + 0,29 \cdot 0,25 \cdot (-0,5) = 8,6 \text{ кВ}$$

$$Z_{\Sigma 6} = 87,33 + 42,43 \cdot x_1 + 10,93 \cdot x_2 + 12,37 \cdot x_3 - 2,13 \cdot x_4 + 5,99 \cdot x_1 \cdot x_2 + 7,71 \cdot x_1 \cdot x_3 = 87,33 + 42,43 \cdot (-0,3) + 10,93 \cdot 0,25 + 12,37 \cdot 0 - 2,13 \cdot (-0,5) + 5,99 \cdot (-0,3) \cdot 0,25 + 7,71 \cdot (-0,3) \cdot 0 = 78 \text{ т.руб/год}$$

$$Z_{\Sigma 10} = 87,15 + 41,20 \cdot x_1 + 8,27 \cdot x_2 + 11,95 \cdot x_3 + 3,88 \cdot x_1 \cdot x_2 + 7,43 \cdot x_1 \cdot x_3 = 87,15 + 41,20 \cdot (-0,3) + 8,27 \cdot 0,25 + 11,95 \cdot 0 + 3,88 \cdot (-0,3) \cdot 0,25 + 7,43 \cdot (-0,3) \cdot 0 = 76,5 \text{ т.руб/год}$$

Рациональным стандартным напряжением для данной системы электроснабжения является напряжение 10 кВ.

В случае определения рационального напряжения по радиальной схеме затраты на систему электроснабжения 6 кВ оказались меньше, чем по схеме двойной магистрали 10 кВ. Но учитывая, что рациональное нестандартное напряжение в первом случае больше 6 кВ, и предполагая дальнейшее расширение предприятия и увеличения его мощности, то в качестве рационального напряжения с учетом динамики развития предприятия рекомендуется напряжение 10 кВ и схема распределительной сети по двойной магистрали.

## Задача

По исходным данным и с использованием результатов выбора напряжений питающей и распределительной сети в контрольных заданиях № 3 и 4 определить число и экономически целесообразную мощность трансформаторов ГПП предприятия.

Принять значение коэффициента максимума нагрузки равным  $K_m = 1,2$ .

На заводе имеются потребители 1 и 2 категории, поэтому принимаем к установке два силовых трансформатора.

Намечаем два возможных варианта мощности трансформаторов ГПП с учетом допустимых перегрузок, для этого от заданной полной мощности завода перейдем к средней за наиболее загруженную смену. /4/стр178

$$P_{CM} = \frac{P}{K_M} = \frac{24}{1,2} = 20 \text{ МВт}; Q_{CM} = P_{CM} \cdot \text{tg}\varphi_{CB} = 20 \cdot 0,48 = 9,6 \text{ Мвар}$$

Так как допустимая перегрузка не должна превышать 30%, намечаем два варианта номинальной мощности

*вариант 1* Два трансформатора по 16000 кВА. В нормальном режиме трансформаторы работают с неполной нагрузкой. Коэффициент загрузки в часы

максимума равен  $k_3 = \frac{S_M}{2 \cdot S_{НОМ.Т}} = \frac{24}{2 \cdot 16} = 0,75$

*вариант 2* Два трансформатора по 10000 кВА. С учетом нормальной перегрузки, оба трансформатора в нормальном режиме смогут пропустить всю потребляемую мощность во время максимальной нагрузки завода

$$S_{M.Т.} = 1,5 \cdot 2 \cdot S_{НОМ.Т} = 1,5 \cdot 2 \cdot 10 = 30 \text{ МВА}$$

Проверим возможность перегрузки при отключении одного из трансформаторов.

*вариант 1*  $1,4 \cdot S_{НОМ.Т} = 1,4 \cdot 16 = 22,4 \text{ МВА}$  т.е. 90% всей потребляемой мощности, что приемлемо.

*вариант 2*  $1,4 \cdot S_{НОМ.Т} = 1,4 \cdot 10 = 14 \text{ МВА}$  т.к. на заводе имеются 61% потребителей 3 категории, то часть из них на некоторое время могут быть отключены. Этот вариант тоже приемлем.

Определим экономически целесообразный режим работы трансформаторов. Технические данные трансформаторов

$S_{НОМ.Т}$ МВА	$U_{ВН}$ кВ	$\Delta P_X$ кВт	$\Delta P_K$ кВт	$I_X$ %	$U_K$ %	К т.руб
10	110	8	60	0,9	10,5	49,2
16	110	26	85	0,85	10,5	52

Определим годовые потери мощности и электроэнергии.

$$\text{вариант 1} \quad \Delta Q_X = S_{НОМ.Т} \cdot \frac{I_X}{100} = 16000 \cdot \frac{0,85}{100} = 136 \text{ кВар}$$

$$\Delta Q_K = S_{НОМ.Т} \cdot \frac{U_K}{100} = 16000 \cdot \frac{10,5}{100} = 1680 \text{ кВар}$$

$$\Delta P'_X = \Delta P_X + k_{и,п} \cdot \Delta Q_X = 26 + 0,05 \cdot 136 = 32,8 \text{ кВт}$$

$$\Delta P'_K = \Delta P_K + k_{и,п} \cdot \Delta Q_K = 85 + 0,05 \cdot 1680 = 169 \text{ кВт}$$

приведенные потери мощности в одном трансформаторе

$$\Delta P'_{16} = \Delta P_X + k_3^2 \cdot \Delta P'_K = 26 + 1,4^2 \cdot 169 = 357 \text{ кВт}$$

приведенные потери мощности при двух трансформаторах

$$\Delta P'_{16,2} = 2\Delta P_X + k_3^2 \cdot \Delta P'_K = 2 \cdot 26 + 0,75^2 \cdot 169 = 242 \text{ кВт}$$

$$\text{время наибольших потерь электроэнергии } T_{\Pi} = \left( 0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 4924 \text{ ч}$$

потери электроэнергии

$$\Delta \mathcal{E}_{a.T_1} = n \cdot \Delta P_X \cdot T_{\Gamma} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_K \cdot \frac{S_{MAX}^2}{S_{НОМ.Т}^2} \cdot T_{\Pi} = 495790 \text{ кВт/ч}$$

$$\text{вариант 2} \quad \Delta Q_X = S_{НОМ.Т} \cdot \frac{I_X}{100} = 10000 \cdot \frac{0,9}{100} = 90 \text{ кВар}$$

$$\Delta Q_K = S_{НОМ.Т} \cdot \frac{U_K}{100} = 10000 \cdot \frac{10,5}{100} = 1050 \text{ кВар}$$

$$\Delta P'_X = \Delta P_X + k_{и,п} \cdot \Delta Q_X = 8 + 0,05 \cdot 90 = 12,5 \text{ кВт}$$

$$\Delta P'_K = \Delta P_K + k_{и,п} \cdot \Delta Q_K = 60 + 0,05 \cdot 1050 = 112,5 \text{ кВт}$$

приведенные потери мощности в одном трансформаторе

$$\Delta P'_{10} = \Delta P_X + k_3^2 \cdot \Delta P'_K = 8 + 1,4^2 \cdot 112,5 = 228,5 \text{ кВт}$$

приведенные потери мощности при двух трансформаторах

$$\Delta P'_{10,2} = 2\Delta P_X + k_3^2 \cdot \Delta P'_K = 2 \cdot 8 + 1,2^2 \cdot 112,5 = 178 \text{ кВт}$$

потери электроэнергии

$$\Delta \text{Э}_{a.T_2} = n \cdot \Delta P_X \cdot T_\Gamma + \frac{1}{n} \cdot \Delta P'_K \cdot \frac{S_{\text{MAX}}^2}{S_{\text{НОМ.Т}}^2} \cdot T_\Pi = 664790 \text{ кВт/ч}$$

найдем нагрузку при которой необходимо переходить на работу с двумя трансформаторами:

$$\text{вариант 1 } S_A = S_{\text{НОМ.Т}} \sqrt{n(n-1) \frac{P'_X}{P'_K}} = 16 \sqrt{2 \frac{32,8}{169}} = 10 \text{ МВА}$$

$$\text{вариант 2 } S_A = S_{\text{НОМ.Т}} \sqrt{n(n-1) \frac{P'_X}{P'_K}} = 10 \sqrt{2 \frac{12,5}{112,5}} = 4,7 \text{ МВА}$$

Определим наиболее целесообразный вариант установки трансформаторов. Капитальные затраты составят

$$\text{вариант 1 } K_1 = 2 \cdot K_{16} = 2 \cdot 52 = 104 \text{ т.руб}$$

$$\text{вариант 2 } K_2 = 2 \cdot K_{10} = 2 \cdot 49,2 = 98,4 \text{ т.руб}$$

амортизационные отчисления

$$\text{вариант 1 } Ca_1 = Ka_T \cdot K_1 = 0,1 \cdot 104 = 10,4 \text{ т.руб/год}$$

$$\text{вариант 2 } Ca_2 = Ka_T \cdot K_2 = 0,1 \cdot 98,4 = 9,8 \text{ т.руб/год}$$

стоимость потерь при  $C_0 = 0,008$  руб/кВт.ч

$$\text{вариант 1 } C_{П1} = C_0 \cdot \Delta \text{Э}_{a.T_1} = 0,008 \cdot 495790 = 3,966 \text{ т.руб/год}$$

$$\text{вариант 2 } C_{П2} = C_0 \cdot \Delta \text{Э}_{a.T_2} = 0,008 \cdot 664790 = 5,318 \text{ т.руб/год}$$

годовые эксплуатационные расходы

$$\text{вариант 1 } C_{Э1} = Ca_1 + C_{П1} = 10,4 + 3,966 = 14,4 \text{ т.руб/год}$$

$$\text{вариант 2 } C_{Э2} = Ca_2 + C_{П2} = 9,8 + 5,318 = 15,2 \text{ т.руб/год}$$

$$\text{определим срок окупаемости } T_{\text{ОК}} = \frac{K_1 - K_2}{C_{Э2} - C_{Э1}} = \frac{104 - 98,4}{15,2 - 14,4} = 7 \text{ лет}$$

Расчетный срок окупаемости равен нормативному, составляющему  $T_n = 7-8$  лет, поэтому оба варианта являются экономически равноценными. Учитывая будущее расширение производства с увеличением нагрузок окончательно принимаем к установке два трансформатора мощностью по 16000 кВА.

### 5.3. Комплекты домашних заданий, контрольных работ.

Комплекты домашних заданий выполнены по темам, каждая из которых содержит 15-25 задач. Задачи варьируются случайным образом при выдаче студентам. Ниже приводятся примеры индивидуальных домашних заданий.

Полный комплект заданий находится у лектора.

#### Задача №1

Рассчитать токи трехфазного короткого замыкания в схеме, показанной на рис. Исходные данные для расчета представлены в табл. На схеме показана двухцепная ЛЭП с проводами марки АС, синхронные двигатели – типа СТД, асинхронные двигатели – марки АЗМ,  $\cos\varphi$  принять равным 0,8 для всей нагрузки, показанной на схеме. Проверить необходимость установки реакторов, изображенных на схеме.

Исходные данные к расчету	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Точка КЗ	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7	К8	К4	К3
Мощность КЗ системы, МВА	3000	$\infty$	5000	2000	2500	5000	4000	$\infty$	2000	2500
Мощность тр-ров ГПП, МВА	63	40	80	16	25	40	80	63	25	16
Сечение ЛЭП, мм <sup>2</sup>	150	120	185	95	120	150	240	185	120	95
Длина ЛЭП, км	5	10	15	7	9	12	8	3	10	14
Нагрузка, МВА										
Н1	10	8	11	2	4	8	14	6	5	2
Н2	8	7	12	1	5	7	12	5	7	1
Н3	0,8	1	3	1	2	1	2	1,26	1,6	1
Н4	2,5	1	2	2	1	2,5	4	2	1	2
Число и мощность СД на каждой секции шин ГПП, МВт	3x4	2x3,15	3x5	2x1	3x2	2x4	4x5	3x3,15	2x2	2x1
Число и мощность СД на каждой секции шин РП-1, МВт	5x1,6	3x2,5	2x3	2x1,25	2x1	3x2	2x5	3x4	4x1	3x0,8
Число и мощность АД на каждой секции шин РП-2, МВт	3x3,2	2x2,5	4x4	2x1	2x1,6	2x2,5	2x3,2	3x4	3x1	5x0,5
Мощность трансформаторов РП-2, МВА	10	10	25	4	4	10	10	16	4	6,3
Длина кабельной линии до РП-1, км	1	1,5	2	0,5	0,8	1,2	1,6	1,8	1,5	1
Длина кабельной линии до РП-2, км	1	2	1	1,3	1,1	1	1,4	1,5	2	1

Недостающие для расчета исходные данные определить по справочникам. Сечение кабельных линий выбрать по нагрузке перед расчетом токов КЗ, а после расчета проверить на действие токов КЗ.

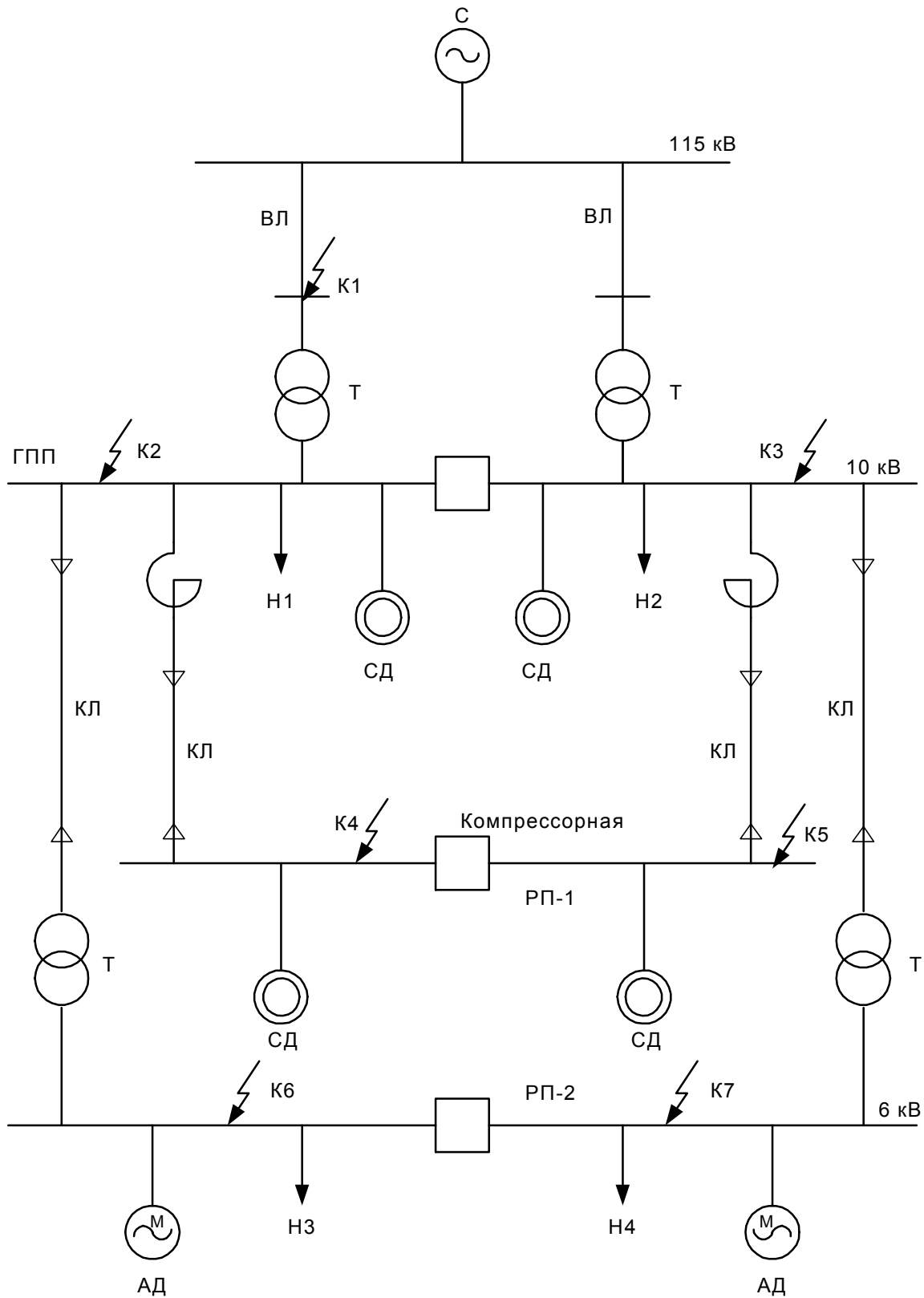


Рис.

### Задача №2

Выбрать элемент схемы электроснабжения, указанной в табл., используя результаты расчета первой задачи.

Номер варианта	Элемент схемы
1	Выключатель 110 кВ
2	Сборные шины 10 кВ
3	Вводной выключатель 10 кВ
4	Трансформатор тока на вводе РП-1
5	Трансформатор напряжения 1 секции шин ГПП
6	Секционный выключатель РП-2
7	Опорные и проходные изоляторы РП-2
8	Ячейка КРУ отходящего присоединения к СД РП-1
9	Выключатель присоединения к СД РП-1
10	Трансформатор тока на нагрузке ГПП

### Задача №3

Выбрать экономически целесообразное напряжение и схему распределительной сети, число и мощность трансформаторов ГПП, если напряжение питающей линии 110 кВ,  $K_p=1$ . Исходные данные приведены в табл.

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Суммарная расчетная мощность ЭД 6 кВ, МВА	1	1,5	2	1,8	2,2	1,7	2,1	1,2	1,4	3
Средний tg φ ЭД	0,75	0,72	0,7	0,6	0,73	0,77	0,66	0,79	0,65	0,8
Суммарная активная расчетная нагрузка КТП, МВт	24	30	35	28	33	40	37	25	31	27
Суммарная реактивная расчетная нагрузка КТП, Мвар	12	15	20	18	17	23	15	17	19	16
Коэффициент разновременности максимальной нагрузки на шинах ГПП	0,95	0,92	0,9	0,93	0,94	0,95	0,92	0,94	0,93	0,9
Средняя напряженность распределительной сети при радиальной схеме, км	0,9	0,4	1	0,5	0,6	0,7	0,8	1	0,9	0,8



Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Средняя напряженность кабельной распределительной сети при схеме двойной сквозной магистрали, км	1	0,7	0,9	0,8	0,5	0,9	0,4	0,5	0,9	0,6
Отношение числа часов работы предприятия в году к числу часов использования максимума нагрузки	1,35	1,32	1,3	1,34	1,23	1,25	1,27	1,29	1,31	1,3

Предприятие расположено на Кубани. Недостающие справочные данные принять по справочной литературе.

Задания на контрольную работу студентов заочной и сокращенной форм обучения также формируются из подобных заданий.

## **6. Перечень программных продуктов, используемых студентами при изучении данной дисциплины**

При изучении данной дисциплины целесообразно пользоваться следующими программными продуктами: MathCad; Visio; SDO-6; RASTR; Exsel.

Все выше перечисленные ПВК широко используются в практической деятельности выпускников и изучаются ранее.

Методические указания по данным программным продуктам изложены в УМКД дисциплин «Информатика», «Пакеты прикладных программ», поэтому в данном УМКД не приводятся.

## **7. Методические указания по применению современных информационных технологий**

Состав информационных технологий, используемых при изучении данной дисциплины:

1. Презентации лекций, слайды, каталоги с техническими характеристиками оборудования – 3 компакт диска.
2. Электронные варианты электрических схем энергетических компаний Дальневосточного региона.
3. Схемы, рисунки, таблицы под медиакомплекс.
4. Лазерные пленки к проектоскопу – 16 штук.
5. Комплект индивидуальных заданий по дисциплине: домашних и выдаваемых на лекциях.
6. Промышленные программно-вычислительные комплексы «СДО-6», "RASTR", пакет автоматизации математических расчетов «MathCad».
7. Презентации практических занятий.
8. Электронный подбор материалов.
9. Электронные варианты учебников и учебных пособий в библиотеке кафедры.
10. Справочные материалы.

К информационной составляющей УМКД относятся учебники, учебные пособия методические разработки. Т.е. их электронные издания (ИЭ). Информационная составляющая является электронным аналогом с:

возможностью использования наряду со статическими текстами и изображениями мультимедийных ресурсов (звука и видео);

наличием встроенных средств навигации, позволяющих пользователю переходить к основной странице издания, предыдущей, следующей странице издания, просмотреть оглавление всего издания или его раздела;

возможность оперативного внесения изменений после публикации.

Электронные издания существуют в различных представлениях. Возможно представление изданий в формате текстового процессора, например Word, публикация издания в переносимом формате, например Adobe PDF. Следующей формой публикации ЭИ является публикация во Всемирной паутине в формате HTML с использованием других технологий, например CSS для стилового оформления, динамического HTML – для создания динамических документов, Macromedia Flash для анимации.

ЭИ допускает многовариантное представление с различной функциональностью для работы с помощью различных пользовательских агентов. Состав версий ЭИ обеспечивает работу с ним на персональном компьютере и распечатку его на бумаге. Электронное представление ЭИ позволяет хранить его на любых электронных носителях и доставлять через сеть.

Разница проведения практических занятий при очном и дистанционном видах обучения определяется организацией взаимодействия между обучаемым и преподавателем, а также степенью взаимодействия между обучаемыми. В очном образовании преподаватель может управлять ходом решения задач в реальном времени, направляя обучаемых, комментируя и объясняя типичные ошибки. Взаимодействие между обучаемыми позволяет быстрее находить решения, кроме того, обучаемые получают опыт совместной работы. В заочном образовании, обучаемый получает комплект, состоящий из задачника, задания, методических указаний, примеров решения задач, справочных материалов. Участие преподавателя сводится к проверке полученных по почте решений. Дистанционный вариант проведения практических занятий отличается от заочного возможностью оперативного общения между обучаемыми и преподавателем.

Способы общения между преподавателем и обучаемыми в заочной и сокращенной заочной формах обучения:

общение по электронной почте – этот способ является предпочтительным, позволяя его участникам читать и подготавливать сообщения в удобное для них время;

общение через web-форумы, организуемые на web-серверах учебного заведения;

общение с помощью служб мгновенных сообщений и чатов.

*Способ доставки учебного контента:* лично; по почте; электронные средства доставки (ftp, http, E-mail); комбинированные средства доставки.

Средства взаимодействия между преподавателем и обучаемыми вынесены из состава УМК, например электронную почту, форумы, чаты целесообразно совместно использовать под несколько ЭУМК.

## **8. Контроль качества образования**

### **8.1. Методические указания профессорско-преподавательскому составу по организации межсессионного и экзаменационного контроля знаний студентов.**

В процессе изучения дисциплины используются следующие виды контроля знаний студентов:

входной контроль;

текущий контроль;

рубежный контроль;

экзаменационный (итоговый) контроль;

самоконтроль знаний.

#### ***Виды и цели контроля***

*Входной контроль* зависит от цели обучающего курса и его специфики. Он определяет готовность студента к работе по курсу (роль допуска к

обучению), выполняет диагностические функции, выявляет пробелы в знаниях, компенсируемые процессом дополнительного обучения. Обучающий курс становится адаптивным (каждый учащийся идет своим путем в зависимости от его начального уровня). Работа по тестовым заданиям настраивает студента на предметную область, вводит в терминологию, способствует актуализации знаний, становится стартовой площадкой для новой темы. Обычно входной контроль редок (вступительные экзамены, допуск к лабораторной работе), но при компьютеризации обучения его частота повышается.

*Текущий контроль* – диагностика знаний, умений и навыков (ЗУН) и коррекция обучения в процессе усвоения темы, позволяющая исправлять недостатки обучения и достигать необходимого уровня его усвоения.

*Рубежный контроль* – это проверка уровня усвоения очередного раздела курса. Студенту предлагается творческая задача, задача повышенной сложности или задача, предусматривающая перенос усвоенных знаний на другой материал. Успешное решение задачи показывает, что учащийся овладел всей системой знаний и действий, предусмотренных целями обучения по данной теме. Рубежная проверка позволяет обучаемому запрашивать необходимый справочный или информационный материал, советы, разъяснения ошибок, наводящие вопросы. Задания должны быть адекватны этапу познавательной деятельности, элементу которого соответствует серия нескольких заданий. Рубежный контроль может быть входным для изучения последующего материала и поддержки уровня знаний при перерывах в обучении, что характерно для студентов заочной и сокращенной заочной форм. Итогом рубежного контроля являются результаты контрольных точек.

*Экзаменационный (итоговый) контроль.* Если проверка исходного уровня – «входной» контроль, то заключительный контроль показывает полученные результаты «на выходе». Он представляет собой серию заданий по всему материалу, которую обучаемый должен решить самостоятельно. По результатам экзаменационного контроля учащийся получает отметку.

*Самоконтроль знаний* – наиболее простой вид. Обычно это вопросы и задачи, на которые учащийся пытается ответить самостоятельно. При затруднении он может обратиться к учебнику и найти в нем ответы. Основная цель самоконтроля – самоутверждение, достижение уверенности в усвоении учебного материала, хотя это может и не соответствовать действительности.

Таким образом, основные цели разных видов контроля следующие: самоутверждение; готовность к изучению нового материала; проверка уровня усвоения; поддержка адаптивного обучения и уровня знаний; формирование базы оценок для определения рейтинга обучаемых. Программные средства контроля знаний должны обеспечивать все стадии его проведения: от идентификации до выдачи результатов.

Контроль (диагностика) знаний, умений, навыков (ЗУН) включает в себя выполнение некоторого множества заданий, характеризующихся трудностью и сложностью. Трудность задания определяется уровнем усвоения, на диагностику которого оно направлено. Сложность характеризуется числом существенных операций в нем, в т.ч. и свернутых.

*Педагогически корректное задание для контроля знаний студентов должно быть:* содержательно валидным (построенным на содержании предшествующего обучения); функционально валидным (проверка того, для чего его используют); объективным; однозначным; специфичным (требующим конкретных ЗУН, а не общей эрудиции); способным разделить учащихся на знающих и незнающих.

*Подбор заданий в группу* основан на репрезентативности (полноте охвата дисциплины или ее раздела ограниченной выборкой); однородности (равноценности содержания и трудности наборов заданий); рандомизации (гарантии не предъявления одного и того же набор заданий).

Входной контроль выполняется в виде тестовых заданий. Формами текущего контроля являются блиц-опрос студентов на каждой лекции по пройденному материалу (5-7 минут), опрос на практических занятиях, защита индивидуальных домашних заданий, рефераты.

Рубежный контроль предусматривает выполнение контрольных работ, комплексных заданий, направленных на проверку эвристических способностей студентов, углубленного изучения материала, коллоквиум.

Итоговый контроль – это экзамен по дисциплине. Экзаменационный билет должен включать два теоретических вопроса и задачу. Предусмотрено три типа сложности задач: простой, средней и повышенной сложности. Студенту предлагается выбор задачи по сложности в зависимости от того, на какую оценку он претендует. Если студент не справляется с задачей средней или повышенной сложности, то предлагается простая задача, отсутствие решения которой приводит к неудовлетворительной оценке на экзамене.

Рекомендуется при оценке знаний студентов на экзамене учитывать его работу в семестре.

## **8.2. Фонды тестовых и контрольных заданий для оценки качества знаний**

Тестовые задания для оценки качества знаний по дисциплине «Электроэнергетика. Передача и распределение электроэнергии» утверждены в 2006 г. в УМО в области энергетики и электротехники.

### **Контрольные задания по дисциплине «Системы электроснабжения»**

#### Вариант № 1

1. Электротехнические установки, производящие, преобразующие, распределяющие и потребляющие электроэнергию подразделяются на ЭУ напряжением:

- а) выше 1 кВ и ниже 1 кВ
- б) 1 кВ, 10 кВ, 35 кВ, 110 кВ, 220 кВ
- в) до 220 кВ и свыше 220 кВ.

2. Режим работы ЭП характеризуется:

- а) технологическим процессом
- б) температурой отдельных частей машины
- в) временем работы ЭП.

3. Глухое заземление нейтрали применяется в:

- а) трехфазных сетях 6-35 кВ
- б) трехфазных сетях постоянного тока
- в) в сетях 110 кВ и выше, в 4-х проводных сетях 380/220 В, 3-х фазных сетях постоянного тока.

4. Плавкие предохранители служат для:

- а) защиты внутрицеховых сетей от токов КЗ
- б) дистанционного управления АД
- в) коммутации силовой цепи.

5. Отклонение напряжения у ЭП определяется:

- а)  $\pm U\% = [(U_{\text{фак}} - U_{\text{ном}})]/U_{\text{ном}} \cdot 100\%$
- б)  $\pm U\% = [(U_{\text{ном}} - U_{\text{min}})]/U_{\text{ном}} \cdot 100\%$
- б)  $\pm U\% = [(U_{\text{мах}} - U_{\text{ном}})]/U_{\text{ном}} \cdot 100\%$

6. Провести соответствие:

- а) НКУ установлено у одиночного ЭП с низким  $\cos \varphi$  и большим числом часов работы в году
- б) НКУ установлено у распределительного пункта < 1 кВ или на магистральном шинопроводе
- в) НКУ установлено на шинах 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ

1. Централизованная КРМ

2. Групповая КРМ

3. Индивидуальная КРМ

7. Режим настройки дугогасящих катушек в нейтрали характеризуется:

- а) степенью расстройки, степенью настройки
- б) коэффициентом успокоения резонансно-заземленной сети
- в) напряжением смещения нейтрали.



8. Условием несинхронного включения СД является:

а)  $I_{nc} X''d \leq 1,5 k$

б)  $I_{nc} X''d \leq 1,05 k$

в)  $I_{nc} X'd \leq 1,5 k$

9. Номинальный ток плавкой вставки предохранителя определяется как:

а) для одиночного ЭП  $I_{ном.вст.} \geq I_p$

для одиночного ЭД  $I_{ном.вст.} \geq I_{пуск.}/\alpha$

б) для одиночного ЭП  $I_{ном.вст.} \geq I_{ном.эп}$

для одиночного ЭД  $I_{ном.вст.} \geq I_{лик.}/\alpha$

в) для одиночного ЭП  $I_{ном.вст.} \geq I_{ном.эн}$

для одиночного ЭД  $I_{ном.вст.} \geq I_{пуск.}/\alpha$

10. По роду ток все потребители эл.энергии, работающие от сети делятся на группы:

а) переменного и постоянного тока

б) переменного тока нормальной промышленной частоты,  
переменного тока повышенной или пониженной частоты постоянного  
тока

в) переменного тока повышенной частоты и постоянного тока.

11. При прокладке кабелей до 10 кВ в земле рекомендуется в одной траншее прокладывать:

а) не более 6 силовых кабелей

б) не более 10 силовых кабелей

в) не более 12 силовых кабелей

12. Процесс самозапуска делится на следующие этапы:

а) выбег и восстановление рабочего режима

б) разгон и восстановление рабочего режима

в) выбег, разгон и восстановление рабочего режима.

13. Для увеличения критического скольжения во время самозапуска необходимо:
- проводить ресинхронизацию СД
  - максимально использовать форсировку возбуждения
  - чтобы входной момент был меньше момента сопротивления СД
14. Номинальная акт. мощность ЭП повторно-кратковременного режима работы это:
- мощность за наиболее загруженную смену
  - паспортная мощность, приведенная к длительному режиму работы
  - максимальная мощность за 30-минутный максимум.
15. Режимы настройки дугогасящих катушек в сети с резонансно-заземленными нейтралями являются:
- резонансный
  - недокомпенсации, резонансный
  - резонансный, недокомпенсации, перекомпенсации.
16. Расчетная нагрузка эмпирическим методом определяется как:
- $P_p = K_c \cdot P_{уст.}$
  - $P_p = P_{срт} + b d_{срт}$
  - $P_p = K_p \cdot P_{ср}$
17. Номинальный ток плавкой вставки предохранителя определяется как:
- для одиночного ЭП  $I_{ном.вст.} \geq I_p$   
для одиночного ЭД  $I_{ном.вст.} \geq I_{пуск.}/\alpha$
  - для одиночного ЭП  $I_{ном.вст.} \geq I_{ном.эп}$   
для одиночного ЭД  $I_{ном.вст.} \geq I_{лик.}/\alpha$
  - для одиночного ЭП  $I_{ном.вст.} \geq I_{ном.эн}$   
для одиночного ЭД  $I_{ном.вст.} \geq I_{пуск.}/\alpha$
18. Расчетная реактивная нагрузка в сетях 6-10 кВ промышленных предприятий определяется:
- $Q\beta = Q_{р.в.} + Q_{мах.т} - \Delta Q_T$

б)  $Q\beta = Q_{р.в.} - Q_{мах.т} + \Delta Q_T$

в)  $Q\beta = Q_{р.в.} + Q_{мах.т} - \Delta Q_T$

19. Приемником электроэнергии называют:

а) преобразовательное устройство

б) устройство, в котором происходит преобразование электроэнергии в другой вид энергии для ее использования

в) совокупность машин для преобразования эл.энергии.

20. Приемники электроэнергии подразделяются на группы по сходству режимов на:

а) ЭП длительного режима работы

ЭП кратковременного режима работы

ЭП повторно-кратковременного режима работы

б) ЭП продолжительного режима работы

ЭП кратковременного режима работы

в) ЭП спокойного режима работы

ЭП ударного режима работы.

## Контрольные задания по дисциплине

### «Системы электроснабжения»

#### Вариант № 2

1. Электроснабжением называют:
  - а) обеспечение потребителей электроэнергией
  - б) совокупность ЭУ, предназначенных для обеспечения потребителей электроэнергией
  - в) совокупность взаимосвязанных ЭУ предприятия, города.
2. Номинальная активная мощность ЭП длительного режима работы это:
  - а) мощность за наиболее загруженную смену
  - б) мощность, указанная в тех. паспорте ЭП
  - в) средняя мощность ЭП.
3. В сетях 6-10 кВ промышленных предприятий экономически целесообразно применять токопроводы при передаваемой мощности:
  - а) 5-10 МВА на U=6кВ, >10 МВА на U=10 кВ
  - б) 15-40 МВА на U=6кВ 20-70 МВА на U =10 кВ
  - в) <15 МВА на U=6кВ, >15 МВА на U=10 кВ.
4. Номинальным током плавкой вставки называют:
  - а) номинальный ток, при котором плавкая вставка предохранителя еще не перегорает
  - б) ток, которой может длительно проходить через их, не вызывая расплавления металла вставки или сильного нагрева
  - в) ток КЗ, протекающий через предохранитель.
5. Потеря напряжения между напряжением ист. питания U1 и напряжением в месте подключения ЭП к сети U2 определяется:
  - а)  $\Delta U\% = [(U_{\text{ном}} - U_2)]/U_1 \cdot 100\%$
  - б)  $\Delta U\% = [(U_1 - U_2)]/U_{\text{ном}} \cdot 100\%$
  - б)  $\Delta U\% = [(U_1 - U_{\text{ном}})]/U_2 \cdot 100\%$

6. Преднамеренное соединение с заземляющим устройством какой либо точки токоведущих частей ЭУ, необходимое для обеспечения ее работы, называют:

- а) рабочим заземлением
- б) защитным заземлением
- в) заземлением нейтрали.

7. Коэффициент успокоения резонансно-заземленной сети определяется как:

$$а) d = - \frac{C_A + a^2 C_B + a C_c}{C_A + C_B + C_c} \cdot \frac{W(C_A + C_B + C_c) - 1/WL_H}{3G + 1/R_H} \cdot 100$$

$$б) d = \frac{W(C_A + C_B + C_c) - 1/WL_H}{3G + 1/R_H} \cdot 100$$

$$в) d = \frac{W(C_A + C_B + C_c)}{3G + 1/R_H} \cdot 100$$

8. Ток несинхронного выключения при самозапуске 1 ЭД определяется:

$$а) I_{нс} = \frac{E + U}{X''_d + X_c}$$

$$а) I_{нс} = \frac{E + U}{X'_d + X_c}$$

$$а) I_{нс} = \frac{E + U}{X_d + X_c}$$

9. Приемники электроэнергии подразделяются на группы по сходству режимов на:

- а) ЭП длительного режима работы
  - ЭП кратковременного режима работы
  - ЭП повторно-кратковременного режима работы
- б) ЭП продолжительного режима работы
  - ЭП кратковременного режима работы

в) ЭП спокойного режима работы

ЭП ударного режима работы.

10. В зависимости от установленной мощности приемников электроэнергии различают объекты:

а) большой (75-100 МВт и >), средней (от 5 до 75 МВт) и малой (<5 МВт) мощности

б) большой (>100 МВт), средней (<100 МВт)

в) большой (>75 МВт), малой (<75 МВт)

11. Расстояние между двумя параллельно идущими траншеями с кабелями 35 кВ:

а) 1,5 м

б) 1 м

в) 0,5 м

12. При выборе защитных аппаратов для защиты ЭД до 1 кВ учитывается коэффициент  $\alpha$ , зависящий от условий и длительности пуска ЭД и равный:

а)  $\alpha = 2,5$  для легких пусков с  $t_{\text{пуска}} = \text{до } 2,5\text{с}$

$\alpha = 1,6$  для тяжелых пусков с  $t_{\text{пуска}} = > 2,5\text{с}$

б)  $\alpha = 3,5$  для легких пусков с  $t_{\text{пуска}} \text{ до } 3,5\text{с}$

$\alpha = 2,5$  для тяжелых пусков с  $t_{\text{пуска}} > 3,5\text{с}$

в)  $\alpha = 1,6$  для легких пусков с  $t_{\text{пуска}} \text{ до } 1,6\text{с}$

$\alpha = 2,5$  для тяжелых пусков с  $t_{\text{пуска}} > 1,6$

13. Баланс реактивной мощности в узле 6-10 кВ промышленного предприятия имеет вид:

а)  $Q_{\text{в}} - Q_{\text{нк}} - Q_{\text{ск}} - Q_{\text{т}} - Q_{\text{сд}} - Q_{\text{э1}} = 0$

в)  $Q_{\text{в}} - Q_{\text{сд}} - Q_{\text{ск}} - Q_{\text{тэц}} - Q_{\text{вк}} - Q_{\text{э1}} = 0$

в)  $Q_{\text{в}} - Q_{\text{сд}} - Q_{\text{вк}} - Q_{\text{мах.т}} - Q_{\text{э1}} - Q_{\text{тэц}} = 0$

14. Если коэффициент эффективности заземления нейтрали  $k_z \leq 1,4$ , то такое заземление нейтрали называют:
- а) изолированным
  - б) эффективным
  - в) компенсированным
15. Емкостной ток замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью определяется как:
- а)  $I_{см} = UI / \alpha$
  - б)  $I_{см} = UI$
  - в)  $I_{сф} = \sqrt{3} U_{ф} W C_{oi} l_i$
16. Напряжение фаз относительно земли при однофазных КЗ в эффективно-заземленных сетях не превышают:
- а)  $1,4 U_{ф}$
  - б)  $1,73 U_{ф}$
  - в)  $1,9 U_{ф}$
17. Промышленные механизмы, участвующие в самозапуске делятся на:
- а) механизмы с постоянным моментом сопротивления, механизмы с вентиляторным моментом сопротивления
  - б) механизмы с максимальным моментом сопротивления, механизмы с номинальным моментом сопротивления
  - в) механизмы с минимальным моментом сопротивления, механизмы с максимальным моментом сопротивления
18. Для увеличения критического скольжения во время самозапуска необходимо:
- а) проводить ресинхронизацию СД
  - б) максимально использовать форсировку возбуждения
  - в) чтобы входной момент был меньше момента сопротивления СД

19. Коэффициентом спроса активной мощности называется отношение:

а)  $\frac{P_{\text{ср.м.}}}{P_{\text{ном.}}}$       б)  $\frac{P_p}{P_{\text{ном}}}$       в)  $\frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{ном}}}$

20. Предельно допустимым током по нагреву называют:

- а) длительно протекающий по проводнику ток, при котором устанавливается наибольшая длительно допустимая температура нагрева проводника
- б) минимальный ток в нормальном режиме длительно протекающий по проводнику
- в) ток, протекающий в проводнике в после аварийном режиме.



## Контрольные задания по дисциплине

### «Системы электроснабжения»

#### Вариант № 3

1. Приемником электроэнергии называют:
  - а) преобразовательное устройство
  - б) устройство, в котором происходит преобразование электроэнергии в другой вид энергии для ее использования
  - в) совокупность машин для преобразования эл.энергии.
2. Номинальная акт, мощность ЭП повторно-кратковременного режима работы это:
  - а) мощность за наиболее загруженную смену
  - б) паспортная мощность, приведенная к длительному режиму работы
  - в) максимальная мощность за 30-минутный максимум.
3. По режиму КЗ при напряжении  $>1$  кВ не проверяются элементы канализации электроэнергии:
  - а) защищенные автоматическими выключателями и Ином.выкл. до 100 А
  - б) защищенные плавкими предохранителями со вставками на Ином до 60 А - по эл.динамической стойкости, независимо от номинального тока вставок по термической
  - в) защищенные плавкими предохранителями с  $I_{вст} < 60$  А.
4. Автоматические воздушные выключатели до 1 кВ предназначены:
  - а) автоматического размыкания эл.цепей при аномальных режимах
  - б) для оперативных переключений при нормальных режимах
  - в) для защиты эл.сетей до 1 кВ от токов КЗ и перегрузки, для редких оперативных переключений в нормальном режиме, для защиты сетей при снижении напряжения.
5. Расчетная реактивная нагрузка в сетях 6-10 кВ промышленных предприятий определяется:
  - а)  $Q\beta = Q_{р.в.} + Q_{мах.т} - \Delta Q_T$
  - б)  $Q\beta = Q_{р.в.} - Q_{мах.т} + \Delta Q_T$

в)  $Q\beta = Q_{p.v.} + Q_{\max.T} - \Delta Q_T$

6. Коэффициентом эффективности заземления нейтрали  $k_3$  называют:

а)  $k_3 = U_{ном} / U_{min}$

б)  $k_3 = U_{фз} / U_{ф}$

в)  $k_3 = U_{\max} U_{min} / U_{ном}$

7. Напряжение фаз относительно земли при однофазных КЗ в эффективно-заземленных сетях не превышают:

а)  $1,4 U_{ф}$

б)  $1,73 U_{ф}$

в)  $1,9 U_{ф}$

8. Для увеличения критического скольжения во время самозапуска необходимо:

а) проводить ресинхронизацию СД

б) максимально использовать форсировку возбуждения

в) чтобы входной момент был меньше момента сопротивления СД

9. По роду ток все потребители эл. энергии, работающие от сети делятся на группы:

а) переменного и постоянного тока

б) переменного тока нормальной промышленной частоты, переменного тока повышенной или пониженной частоты постоянного тока

в) переменного тока повышенной частоты и постоянного тока.

10. Номинальная активная мощность ЭП длительного режима работы это:

а) мощность за наиболее загруженную смену

б) мощность, указанная в тех. паспорте ЭП

в) средняя мощность ЭП.

11. Расчетная нагрузка эмпирическим методом определяется как:

а)  $P_p = K_c \cdot P_{уст}$

б)  $P_p = P_{срт} \pm \beta \delta_{срт}$

в)  $P_p = K_p \cdot P_{ср}$

12. При прокладке кабелей до 10 кВ в земле рекомендуется в одной траншее прокладывать:

- а) не более 6 силовых кабелей
- б) не более 10 силовых кабелей
- в) не более 12 силовых кабелей

13. Плавкие предохранители служат для:

- а) защиты внутрицеховых сетей от токов КЗ
- б) дистанционного управления АД
- в) коммутации силовой цепи.

14. Предельно допустимым током по нагреву называют:

- а) длительно протекающий по проводнику ток, при котором устанавливается наибольшая длительно допустимая температура нагрева проводника
- б) минимальный ток в нормальном режиме длительно протекающий по проводнику
- в) ток, протекающий в проводнике в послеаварийном режиме.

15. Реактивная мощность, генерируемая СД определяется как:

а)  $Q_{сд} = P_{ном.сд} K_{сд} \operatorname{tg} \varphi_{ном}$

б)  $Q_{сд} + \alpha_m \sqrt{P_{ном\ сд}^2 + Q_{ном\ сд}^2}$

в)  $Q = \frac{P_{ном.сд} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ном}}{\eta_{ном}}$

16. Преднамеренное соединение с заземляющим устройством какой либо точки токоведущих частей ЭУ, необходимое для обеспечения ее работы, называют:

- а) рабочим заземлением
- б) защитным заземлением
- в) заземлением нейтрали.

17. Режимы настройки дугогасящих катушек в сети с резонансно-заземленными нейтралями являются:

- а) резонансный
- б) недокомпенсации, резонансный
- в) резонансный, недокомпенсации, перекомпенсации.

18. Процесс самозапуска делится на следующие этапы:

- а) выбег и восстановление рабочего режима
- б) разгон и восстановление рабочего режима
- в) выбег, разгон и восстановление рабочего режима.

19. Условием несинхронного включения СД является:

- а)  $I_{нсХ} \cdot d \leq 1,5 k$
- б)  $I_{нсХ} \cdot d \leq 1,05 k$
- в)  $I_{нсХ} \cdot d \leq 1,5 k$

20. Коэффициент использования активной мощности одиночного ЭП это отношение:

- а)  $\frac{P_{ср.м.}}{P_{ном.}}$
- б)  $\frac{P_{ср.кВ}}{P_{ном.}}$
- в)  $\frac{P_p}{P_{ном.}}$

## Контрольные задания по дисциплине

### «Системы электроснабжения»

#### Вариант № 4

1. Распределительным пунктом называют:

- а) ЭУ для преобразования и распределения эл. энергии
- б) РУ, предназначенное для приема и распределения эл. энергии на одном напряжении без преобразования и трансформации
- в) комплектное устройство, предназначенное для управления линиями сети и их защиты.

2. Коэффициент использования активной мощности одиночного ЭП это отношение:

- а)  $\frac{P_{ср.м.}}{P_{ном.}}$
- б)  $\frac{P_{ср.кВ}}{P_{ном.}}$
- в)  $\frac{P_p}{P_{ном.}}$

3. По режиму КЗ в ЭУ выше 1 кВ должны проверяться:

- а) кабели и др. проводники
- б) ВЛ и токопроводы
- в) кабели, токопроводы, опорные и несущие конструкции на них, ВЛ при  $i_{уд кз} \geq 50$  кА.

4. Током трогания АВ называют:

- а) настройку расцепителя на заданный ток срабатывания
- б) наименьший ток, вызывающий отключение АВ
- в) максимальный ток, который может протекать через АВ.

5. Баланс реактивной мощности в узле 6-10 кВ промышленных предприятия имеет вид:

- а)  $Q_B - Q_{нк} - Q_{ск} - Q_T - Q_{сд} - Q_{э1} = 0$
- в)  $Q_B - Q_{сд} - Q_{ск} - Q_{тэц} - Q_{вк} - Q_{э1} = 0$
- в)  $Q_B - Q_{сд} - Q_{вк} - Q_{мах.т} - Q_{э1} - Q_{тэц} = 0$

6. Если коэффициент эффективности заземления нейтрали  $k_z \leq 1,4$ , то такое заземление нейтрали называют:
- а) изолированным
  - б) эффективным
  - в) компенсированным
7. Самозапуском называется:
- а) восстановление нормальной работы эл. привода без вмешательства персонала после кратковременного перерыва электроснабжения
  - б) восстановление работы ЭД после нарушения питания
  - в) восстановление работы эл. привода после срабатывания РЗ и А.
8. Глухое заземление нейтрали применяется в:
- а) трехфазных сетях 6-35 кВ
  - б) трехфазных сетях постоянного тока
  - в) в сетях 110 кВ и выше, в 4-х проводных сетях 380/220 В, 3-х фазных сетях постоянного тока.
9. Номинальная акт. мощность ЭП повторно-кратковременного режима работы это:
- а) мощность за наиболее загруженную смену
  - б) паспортная мощность, приведенная к длительному режиму работы
  - в) максимальная мощность за 30-минутный максимум.
10. По режиму КЗ при напряжении  $>1$  кВ не проверяются элементы канализации электроэнергии:
- а) защищенные автоматическими выключателями и Ином.выкл. до 100 А
  - б) защищенные плавкими предохранителями со вставками на Ином до 60 А - по эл.динамической стойкости, независимо от номинального тока вставок по термической
  - в) защищенные плавкими предохранителями с  $I_{вст} < 60$  А.
11. Плавкие предохранители служат для:
- а) защиты внутрицеховых сетей от токов КЗ
  - б) дистанционного управления АД

в) коммутации силовой цепи.

12. Номинальный ток плавкой вставки предохранителя определяется как:

а) для одиночного ЭП  $I_{ном.вст.} \geq I_p$

для одиночного ЭД  $I_{ном.вст.} \geq I_{пуск.}/\alpha$

б) для одиночного ЭП  $I_{ном.вст.} \geq I_{ном.эп}$

для одиночного ЭД  $I_{ном.вст.} \geq I_{лик.}/\alpha$

в) для одиночного ЭП  $I_{ном.вст.} \geq I_{ном.эн}$

для одиночного ЭД  $I_{ном.вст.} \geq I_{пуск.}/\alpha$

13. Реактивная мощность, генерируемая СД определяется как:

а)  $Q_{сд} = P_{ном.сд} \tan \varphi_{ном}$

б)  $Q_{сд} + \alpha_m \sqrt{P_{ном.сд}^2 + Q_{ном.сд}^2}$

в)  $Q = \frac{P_{ном.сд} \cdot \tan \varphi_{ном}}{\eta_{ном}}$

14. Провести соответствие:

а) НКУ установлено у одиночного ЭП с низким  $\cos \varphi$  и большим числом часов работы в году

б) НКУ установлено у распределительного пункта < 1 кВ или на магистральном шинопроводе

в) НКУ установлено на шинах 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ

1. Централизованная КРМ

2. Групповая КРМ

3. Индивидуальная КРМ

15. Длительно допустимым током замыкания на землю называется ток:

а) максимальный, протекаемый в нейтрали трансформатора

б) который, протекая в течение 1-2 часов, не вызывает перехода

в) длительно протекаемый рабочий ток в сети.

16. Режим настройки дугогасящих катушек в нейтрали характеризуется:

а) степенью расстройки, степенью настройки

- б) коэффициентом успокоения резонансно-заземленной сети
- в) напряжением смещения нейтрали.

17. Самозапуск считается обеспеченным, если:

- а) температура нагрева обмоток за время самозапуска не превысит допустимого значения
- б) при пониженном напряжении избыточный момент двигателя достаточен для доведения механизма до номинальной угловой скорости и если за время разгона температура нагрева обмоток не превысит допустимого значения
- в) при повышенном напряжении избыточный момент двигателя достаточен для доведения механизма до номинальной угловой скорости

18. Для увеличения критического скольжения во время самозапуска необходимо:

- а) проводить ресинхронизацию СД
- б) максимально использовать форсировку возбуждения
- в) чтобы входной момент был меньше момента сопротивления СД

19. Условием несинхронного включения СД является:

- а)  $I_{нсX} \cdot d \leq 1,5 k$
- б)  $I_{нсX} \cdot d \leq 1,05 k$
- в)  $I_{нсX} \cdot d \leq 1,5 k$

20. Номинальным током плавкой вставки называют:

- а) номинальный ток, при котором плавкая вставка предохранителя еще не перегорает
- б) ток, которой может длительно проходить через их, не вызывая расплавления металла вставки или сильного нагрева
- в) ток КЗ, протекающий через предохранитель.



## Контрольные задания по дисциплине

### «Системы электроснабжения»

#### Вариант № 5

1. По роду ток все потребители эл. энергии, работающие от сети делятся на группы:

- а) переменного и постоянного тока
- б) переменного тока нормальной промышленной частоты, переменного тока повышенной или пониженной частоты постоянного тока
- в) переменного тока повышенной частоты и постоянного тока.

2. Коэффициентом спроса активной мощности называется отношение:

- а)  $\frac{P_{\text{ср.м.}}}{P_{\text{ном.}}}$       б)  $\frac{P_{\text{ср.кВ}}}{P_{\text{ном.}}}$       в)  $\frac{P_{\text{р}}}{P_{\text{ном.}}}$ .

3. При прокладке кабелей до 10 кВ в земле рекомендуется в одной траншее прокладывать:

- а) не более 6 силовых кабелей
- б) не более 10 силовых кабелей
- в) не более 12 силовых кабелей

4. Предельно допустимым током по нагреву называют:

- а) длительно протекающий по проводнику ток, при котором устанавливается наибольшая длительно допустимая температура нагрева проводника
- б) минимальный ток в нормальном режиме длительно протекающий по проводнику
- в) ток, протекающий в проводнике в послеаварийном режиме.

5. Реактивная мощность, генерируемая СД определяется как:

- а)  $Q_{\text{сд}} = P_{\text{ном.сд}} K_{\text{сд}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{ном}}$

- б)  $Q_{\text{сд}} + \alpha_m \sqrt{P_{\text{ном сд}}^2 + Q_{\text{ном сд}}^2}$

$$в) Q = \frac{P_{ном.сд.} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ном}}{\eta_{ном}}$$

6. Емкостной ток замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью определяется как:

а)  $I_{см} = UI / \alpha$

б)  $I_{см} = UI$

в)  $I_{сф} = \sqrt{3 U_{ф} W C_{oi} l_i}$

7. Процесс самозапуска делится на следующие этапы:

а) выбег и восстановление рабочего режима

б) разгон и восстановление рабочего режима

в) выбег, разгон и восстановление рабочего режима.

8. В сетях 6-10 кВ промышленных предприятий экономически целесообразно применять токопроводы при передаваемой мощности:

а) 5-10 МВА на  $U=6\text{кВ}$ ,  $>10$  МВА на  $U=10$  кВ

б) 15-40 МВА на  $U=6\text{кВ}$  20-70 МВА на  $U=10$  кВ

в)  $<15$  МВА на  $U=6\text{кВ}$ ,  $>15$  МВА на  $U=10$  кВ.

9. Номинальная активная мощность ЭП длительного режима работы это:

а) мощность за наиболее загруженную смену

б) мощность, указанная в тех. паспорте ЭП

в) средняя мощность ЭП.

10. При расчете токов КЗ до 1 кВ в отличие от токов  $Kз > 1$  кВ должны учитываться:

а) сопротивление дуги в месте КЗ

б) сопротивление дуги в месте КЗ, активные сопротивления элементов цепи, включая сопротивление переходных контактов

в) активные сопротивления элементов цепи.

11. Номинальным током плавкой вставки называют:
- номинальный ток, при котором плавкая вставка предохранителя еще не перегорает
  - ток, которой может длительно проходить через их, не вызывая расплавления металла вставки или сильного нагрева
  - ток КЗ, протекающий через предохранитель.
12. Потеря напряжения между напряжением ист. питания  $U_1$  и напряжением в месте подключения ЭП к сети  $U_2$  определяется:
- $\Delta U\% = [(U_{ном} - U_2)]/U_1 \cdot 100\%$
  - $\Delta U\% = [(U_1 - U_2)]/U_{ном} \cdot 100\%$
  - $\Delta U\% = [(U_1 - U_{ном})]/U_2 \cdot 100\%$
13. Коэффициентом эффективности заземления нейтрали  $k_3$  называют:
- $k_3 = U_{ном} / U_{мин}$
  - $k_3 = U_{фз} / U_{ф}$
  - $k_3 = U_{мах} U_{мин} / U_{ном}$
14. Режимы настройки дугогасящих катушек в сети с резонансно-заземленными нейтралью являются:
- резонансный
  - недокомпенсации, резонансный
  - резонансный, недокомпенсации, перекомпенсации.
15. При выборе защитных аппаратов для защиты ЭД до 1 кВ учитывается коэффициент  $\alpha$ , зависящий от условий и длительности пуска ЭД и равный:
- $\alpha = 2,5$  для легких пусков с  $t_{пуска} = \text{до } 2,5\text{с}$   
 $\alpha = 1,6$  для тяжелых пусков с  $t_{пуска} = > 2,5\text{с}$
  - $\alpha = 3,5$  для легких пусков с  $t_{пуска}$  до  $3,5\text{с}$   
 $\alpha = 2,5$  для тяжелых пусков с  $t_{пуска} > 3,5\text{с}$
  - $\alpha = 1,6$  для легких пусков с  $t_{пуска}$  до  $1,6\text{с}$   
 $\alpha = 2,5$  для тяжелых пусков с  $t_{пуска} > 1,6$

16. Расчетная мощность ВБК для предприятия определяется: n

$$a) Q_{вк} = \sum_{i=1}^n Q_{рт} - Q_{нкф} + \Delta Q_T - Q_{э1}$$

$$б) Q_{вк} = \sum_{i=1}^n Q_{рвi} - Q_{сд.р.} - Q_{мах.т.}$$

$$в) Q_{вк} = \sum_{i=1}^n Q_{рвi} - Q_{сд.р.} - Q_{э1}$$

17. Промышленные механизмы, участвующие в самозапуске делятся на:

- а) механизмы с постоянным моментом сопротивления, механизмы с вентиляторным моментом сопротивления
- б) механизмы с максимальным моментом сопротивления, механизмы с номинальным моментом сопротивления
- в) механизмы с минимальным моментом сопротивления, механизмы с максимальным моментом сопротивления

18. Ток несинхронного выключения при самозапуске 1 ЭД определяется:

$$a) I_{нс} = \frac{E + U}{X''d + X_c}$$

$$a) I_{нс} = \frac{E + U}{X'd + X_c}$$

$$a) I_{нс} = \frac{E + U}{X_d + X_c}$$

19. Для увеличения критического скольжения во время самозапуска необходимо:

- а) проводить ресинхронизацию СД
- б) максимально использовать форсировку возбуждения
- в) чтобы входной момент был меньше момента сопротивления СД

20. Коэффициент использования активной мощности одиночного ЭП это отношение:

$$a) \frac{P_{ср.м.}}{P_{ном.}}$$

$$б) \frac{P_{ср.кВ}}{P_{ном.}}$$

$$в) \frac{P_p}{P_{ном.}}$$

## Контрольные задания по дисциплине

### «Системы электроснабжения»

#### Вариант № 6

1. Основным показателем, по которому следует классифицировать приемники эл. энергии являются:
  - а) температура отдельных частей приемника электроэнергии
  - б) технологический режим
  - в) график электрической нагрузки.
2. Расчетная нагрузка эмпирическим методом определяется как:
  - а)  $P_p = K_c \cdot P_{уст.}$
  - б)  $P_p = P_{срт} \pm \beta \delta_{срт}$
  - в)  $P_p = K_p \cdot P_{ср}$
3. Расстояние между двумя параллельно идущими траншеями с кабелями 35 кВ:
  - а) 1,5 м
  - б) 1 м
  - в) 0,5 м
4. Номинальный ток плавкой вставки предохранителя определяется как:
  - а) для одиночного ЭП  $I_{ном.вст.} \geq I_p$   
для одиночного ЭД  $I_{ном.вст.} \geq I_{пуск.}/\alpha$
  - б) для одиночного ЭП  $I_{ном.вст.} \geq I_{ном.эп}$   
для одиночного ЭД  $I_{ном.вст.} \geq I_{лик.}/\alpha$
  - в) для одиночного ЭП  $I_{ном.вст.} \geq I_{ном.эн}$   
для одиночного ЭД  $I_{ном.вст.} \geq I_{пуск.}/\alpha$
5. Расчетная мощность ВБК для предприятия определяется:
  - а)  $Q_{вк} = \sum_{i=1}^n Q_{рт} - Q_{нкф} + \Delta Q_T - Q_{э1}$

$$\text{б) } Q_{\text{вк}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{рв}i} - Q_{\text{сд.р.}} - Q_{\text{мах.т.}}$$

$$\text{в) } Q_{\text{вк}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{рв}i} - Q_{\text{сд.р.}} - Q_{\text{э1}}$$

6. Длительно допускаемым током замыкания на землю называется ток:

- а) максимальный, протекаемый в нейтрали трансформатора
- б) который, протекая в течение 1-2 часов, не вызывает перехода
- в) длительно протекаемый рабочий ток в сети.

7. Самозапуск считается обеспеченным, если:

- а) температура нагрева обмоток за время самозапуска не превысит допустимого значения
- б) при пониженном напряжении избыточный момент двигателя достаточен для доведения механизма до номинальной угловой скорости и если за время разгона температура нагрева обмоток не превысит допустимого значения
- в) при повышенном напряжении избыточный момент двигателя достаточен для доведения механизма до номинальной угловой скорости

8. По режиму КЗ при напряжении >1 кВ не проверяются элементы канализации электроэнергии:

- а) защищенные автоматическими выключателями и  $I_{\text{ном.выкл.}}$  до 100 А
- б) защищенные плавкими предохранителями со вставками на  $I_{\text{ном}}$  до 60 А - по эл.динамической стойкости, независимо от номинального тока вставок по термической
- в) защищенные плавкими предохранителями с  $I_{\text{вст}} < 60$  А.

9. Режим работы ЭП характеризуется:

- а) технологическим процессом
- б) температурой отдельных частей машины
- в) временем работы ЭП.

10. Номинальная акт. мощность ЭП повторно-кратковременного режима работы это:
- а) мощность за наиболее загруженную смену
  - б) паспортная мощность, приведенная к длительному режиму работы
  - в) максимальная мощность за 30-минутный максимум.
11. По режиму КЗ в ЭУ выше 1 кв должны проверяться:
- а) кабели и др. проводники
  - б) ВЛ и токопроводы
  - в) кабели, токопроводы, опорные и несущие конструкции на них, ВЛ при  $i_{уд\ кз} \geq 50$  кА.
12. Плавкие предохранители служат для:
- а) защиты внутрицеховых сетей от токов КЗ
  - б) дистанционного управления АД
  - в) коммутации силовой цепи.
13. Предельно допустимым током по нагреву называют:
- а) длительно протекающий по проводнику ток, при котором устанавливается наибольшая длительно допустимая температура нагрева проводника
  - б) минимальный ток в нормальном режиме длительно протекающий по проводнику
  - в) ток, протекающий в проводнике в послеаварийном режиме.
14. Потеря напряжения между напряжением ист. питания  $U_1$  и напряжением в месте подключения ЭП к сети  $U_2$  определяется:
- а)  $\Delta U\% = [(U_{ном} - U_2)]/U_1 \bullet 100\%$
  - б)  $\Delta U\% = [(U_1 - U_2)]/U_{ном} \bullet 100\%$
  - б)  $\Delta U\% = [(U_1 - U_{ном})]/U_2 \bullet 100\%$
15. Баланс реактивной мощности в узле 6-10 кВ пром.предприятия имеет вид:
- а)  $Q_в - Q_{нк} - Q_{ск} - Q_т - Q_{сд} - Q_{э1} = 0$
  - в)  $Q_в - Q_{сд} - Q_{ск} - Q_{тэц} - Q_{вк} - Q_{э1} = 0$

в)  $Q_B - Q_{сд} - Q_{вк} - Q_{мах.т} - Q_{э1} - Q_{тэц} = 0$

16. Если коэффициент эффективности заземления нейтрали  $k_3 \leq 1,4$ , то такое заземление нейтрали называют:

- а) изолированным
- б) эффективным
- в) компенсированным

17. Процесс самозапуска делится на следующие этапы:

- а) выбег и восстановление рабочего режима
- б) разгон и восстановление рабочего режима
- в) выбег, разгон и восстановление рабочего режима.

18. Промышленные механизмы, участвующие в самозапуске делятся на:

- а) механизмы с постоянным моментом сопротивления, механизмы с вентиляторным моментом сопротивления
- б) механизмы с максимальным моментом сопротивления, механизмы с номинальным моментом сопротивления
- в) механизмы с минимальным моментом сопротивления, механизмы с максимальным моментом сопротивления

19. Условием несинхронного включения СД является:

- а)  $I_{нсX}''d \leq 1,5 k$
- б)  $I_{нсX}''d \leq 1,05 k$
- в)  $I_{нсX}'d \leq 1,5 k$

20. Приемником электроэнергии называют:

- а) преобразовательное устройство
- б) устройство, в котором происходит преобразование электроэнергии в др. вид энергии для ее использования
- в) совокупность машин для преобразования эл. энергии.



**Контрольные задания по дисциплине**  
**«Системы электроснабжения»**

Вариант № 7

1. Приемники электроэнергии подразделяются на группы по сходству режимов на:
  - а) ЭП длительного режима работы  
ЭП кратковременного режима работы  
ЭП повторно-кратковременного режима работы
  - б) ЭП продолжительного режима работы  
ЭП кратковременного режима работы
  - в) ЭП спокойного режима работы  
ЭП ударного режима работы.
2. В зависимости от установленной мощности приемников электроэнергии различают объекты:
  - а) большой (75-100 МВт и >), средней (от 5 до 75 МВт) и малой (<5 МВт) мощности
  - б) большой (>100 МВт), средней (<100 МВт)
  - в) большой (>75 МВт), малой (<75 МВт)
3. При расчете токов КЗ до 1 кВ в отличие от токов КЗ > 1 кВ должны учитываться:
  - а) сопротивление дуги в месте КЗ
  - б) сопротивление дуги в месте КЗ, активные сопротивления элементов цепи, включая сопротивление переходных контактов
  - в) активные сопротивления элементов цепи.
4. При выборе защитных аппаратов для защиты ЭД до 1 кВ учитывается коэффициент  $\alpha$ , зависящий от условий и длительности пуска ЭД и равный:
  - а)  $\alpha = 2,5$  для легких пусков с  $t_{\text{пуска}} = \text{до } 2,5\text{с}$   
 $\alpha = 1,6$  для тяжелых пусков с  $t_{\text{пуска}} = > 2,5\text{с}$

б)  $\alpha = 3,5$  для легких пусков с  $t_{\text{пуска}}$  до  $3,5\text{с}$

$\alpha = 2,5$  для тяжелых пусков с  $t_{\text{пуска}} > 3,5\text{с}$

в)  $\alpha = 1,6$  для легких пусков с  $t_{\text{пуска}}$  до  $1,6\text{с}$

$\alpha = 2,5$  для тяжелых пусков с  $t_{\text{пуска}} > 1,6$

5. Провести соответствие:

а) повторно-кратковременный режим работы ЭП

б) продолжительный (длительный) режим работы ЭП

в) кратковременный режим работы ЭП

6. Режимы настройки дугогасящих катушек в сети с резонансно-заземленными нейтралями являются:

а) резонансный

б) недокомпенсации, резонансный

в) резонансный, недокомпенсации, перекомпенсации.

7. Промышленные механизмы, участвующие в самозапуске делятся на:

а) механизмы с постоянным моментом сопротивления, механизмы с вентиляторным моментом сопротивления

б) механизмы с максимальным моментом сопротивления, механизмы с номинальным моментом сопротивления

в) механизмы с минимальным моментом сопротивления, механизмы с максимальным моментом сопротивления

8. По режиму КЗ в ЭУ выше 1 кв должны проверяться:

а) кабели и др. проводники

б) ВЛ и токопроводы

в) кабели, токопроводы, опорные и несущие конструкции на них, ВЛ при  $i_{\text{уд кз}} \geq 50 \text{ кА}$ .

9. Приемником электроэнергии называют:

а) преобразовательное устройство

б) устройство, в котором происходит преобразование электроэнергии в другой вид энергии для ее использования

в) совокупность машин для преобразования эл.энергии.

10. Коэффициент использования активной мощности одиночного ЭП это отношение:

а)  $\frac{P_{\text{ср.м.}}}{P_{\text{ном.}}}$       б)  $\frac{P_{\text{ср.кВ}}}{P_{\text{ном.}}}$       в)  $\frac{P_p}{P_{\text{ном.}}}$

11. При прокладке кабелей до 10 кВ в земле рекомендуется в одной траншее прокладывать:

- а) не более 6 силовых кабелей
- б) не более 10 силовых кабелей
- в) не более 12 силовых кабелей

12. Предельно допустимым током по нагреву называют:

- а) длительно протекающий по проводнику ток, при котором устанавливается наибольшая длительно допустимая температура нагрева проводника
- б) минимальный ток в нормальном режиме длительно протекающий по проводнику
- в) ток, протекающий в проводнике в послеаварийном режиме.

13. Потеря напряжения между напряжением ист. питания  $U_1$  и напряжением в месте подключения ЭП к сети  $U_2$  определяется:

- а)  $\Delta U\% = [(U_{\text{ном}} - U_2)]/U_1 \cdot 100\%$
- б)  $\Delta U\% = [(U_1 - U_2)]/U_{\text{ном}} \cdot 100\%$
- б)  $\Delta U\% = [(U_1 - U_{\text{ном}})]/U_2 \cdot 100\%$

14. Реактивная мощность, генерируемая СД определяется как:

- а)  $Q_{\text{сд}} = P_{\text{ном.сд}} K_{\text{сд}} \text{tg } \varphi_{\text{ном}}$
- б)  $Q_{\text{сд}} + \alpha_m \sqrt{P_{\text{ном.сд}}^2 + Q_{\text{ном.сд}}^2}$
- в)  $Q = \frac{P_{\text{ном.сд}} \cdot \text{tg } \varphi_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}}$

15. Если коэффициент эффективности заземления нейтрали  $k_z \leq 1,4$ , то такое заземление нейтрали называют:

- а) изолированным

б) эффективным

в) компенсированным

16. Напряжение фаз относительно земли при однофазных КЗ в эффективно-заземленных сетях не превышают:

а)  $1,4 U_{\phi}$

б)  $1,73 U_{\phi}$

в)  $1,9 U_{\phi}$

17. Для увеличения критического скольжения во время самозапуска необходимо:

а) проводить ресинхронизацию СД

б) максимально использовать форсировку возбуждения

в) чтобы входной момент был меньше момента сопротивления СД

18. Преднамеренное соединение с заземляющим устройством какой либо точки токоведущих частей ЭУ, необходимое для обеспечения ее работы, называют:

а) рабочим заземлением

б) защитным заземлением

в) заземлением нейтрали.

19. Процесс самозапуска делится на следующие этапы:

а) выбег и восстановление рабочего режима

б) разгон и восстановление рабочего режима

в) выбег, разгон и восстановление рабочего режима.

20. Электротехнические установки, производящие, преобразующие, распределяющие и потребляющие электроэнергию подразделяются на ЭУ напряжением:

а) выше 1 кВ и ниже 1 кВ

б) 1 кВ, 10 кВ, 35 кВ, 110 кВ, 220 кВ

в) до 220 кВ и свыше 220 кВ.

Квалификационное задание для студентов специальности 140211

«Электроснабжение»

Вариант № 1

При реконструкции одного из цехов, питаемого от шин существующей КТП с трансформаторами 2х1600 кВА, возникла необходимость в подключении 5 двигателей с техническими характеристиками, приведенными в таблице 1. Помещение, где устанавливаются двигатели, не взрыво- и не пожароопасно; температура воздуха 26° С. Режим работы двигателей исключает возможность длительных перегрузок, условия пуска - легкие. Возможность одновременного пуска более одного двигателя исключается. Двигатели подключаются к шинам распределительного пункта, расстояние до которого от двигателей указано в табл.1.

Таблица 1. Технические данные АД.

Тип Двигателя	Uно м, В	Номи н. мощн. , кВт	Кратность пускового тока	кпд, %	cos φ	Кол - Во	Расстояние от АД до распред. пункта, м
A03-355S-	380	75	6	91,5	0,77	2	25
12У3	380	40	5,9	90,5	0,83	2	18
A2-81-4	380	22	5,6	88	0,8	1	10
A2-72-6							

Распределительный пункт можно запитать от существующей КТП, расположенной на расстоянии 270 м, с расчетной нагрузкой  $P_p = 1200$  кВт,  $Q_p = 750$  квар, либо от проектируемой КТП с трансформатором 1000 кВА, расположенной на расстоянии 540 м с расчетной нагрузкой  $P_p = 500$  кВт,  $Q_p = 230$  квар.

Разработать схему электроснабжения вновь подключаемых двигателей, решив при этом следующие вопросы:

- 1) Разработать схему электроснабжения двигателей и определить возможность их подключения к трансформаторным подстанциям. Свое решение обосновать технически и экономически. При этом оценить надежность предлагаемого варианта схемы электроснабжения;
- 2) Выбрать распределительный пункт и питающий его проводник, а также защитный аппарат на вводе РП, согласовав его уставки с уставками вводного защитного аппарата на шинах КТП, приняв в расчетах величину минимального тока однофазного к.з. на шинах КТП 1,8 кА;
- 3) При условии, что существующая КТП подключена к шинам ПГВ 10 кВ, расположенной на расстоянии 4 км, выбрать сечение питающих ее линий и проверить их по допустимой потере напряжения и по термической стойкости к токам К.З. Рассмотреть условия прокладки питающих КТП линий. На ПГВ установлены 2 силовых трансформатора мощностью 40 МВА. Ток К.З. на стороне 110 кВ ПГВ принять равным 11 кА;
- 4) Рассчитать уставки релейной защиты линии, питающей существующую КТП. Какие виды основных защит установлены на силовых трансформаторах ПГВ и от каких повреждений;
- 5) Описать конструкцию изоляции принятой линии, питающей существующую КТП. Каким образом осуществляется монтаж заданной линии?
- 6) Проверить соответствие отклонений напряжения ГОСТ 13109-97 на зажимах первого АД.
- 7) Какие правила техники безопасности необходимо соблюдать при обслуживании данных двигателей?

### 8.3. Экзаменационный контроль.

#### Вопросы к экзамену

1. Структура и параметры систем электроснабжения.
2. Потребитель и приемник электроэнергии. Примеры.
3. Характеристика систем электроснабжения промышленных предприятий.
4. Характеристика систем электроснабжения городов.
5. Классификация потребителей систем электроснабжения по надежности. Примеры.
6. Классификация приемников электроэнергии по режимам работы. Примеры.
7. Классификация приемников электроэнергии по напряжению и мощности. Примеры.
8. Классификация приемников электроэнергии по роду тока и частоте.
9. Силовые общепромышленные установки и производственные механизмы.
10. Электрические печи и электротермические установки.
11. Электросварочные установки.
12. Осветительные установки.
13. Выпрямительные установки.
14. Классификация и область применения методов расчета электрических нагрузок.
15. Эмпирические методы расчета электрических нагрузок.
16. Метод упорядоченных диаграмм.
17. Статистические методы расчета нагрузок.
18. Методы вероятностного моделирования электрических нагрузок.
19. Метод коэффициента расчетной нагрузки.
20. Типы графиков электрических нагрузок.
21. Показатели графиков электрических нагрузок.
22. Характеристики графиков электрических нагрузок.
23. Метод расчета однофазной нагрузки.
24. Метод расчета сварочной нагрузки.
25. Пиковая мощность и ее определения.
26. Схемы питания электроэнергией.
27. Принципы построения схем электроснабжения.
28. Пункты приема электроэнергии.
29. Послеаварийный режим.
30. Схемы внешнего электроснабжения.
31. Глубокие воды.
32. Радиальные схемы внутреннего электроснабжения.
33. Магистральные схемы внутреннего электроснабжения.
34. Смешанные схемы внутреннего электроснабжения.
35. Картограмма нагрузок.
36. Условный центр электрических нагрузок и определение его координат.
37. Определение зоны рассеяния центров электрических нагрузок.

38. Определение места расположения трансформаторной, преобразовательной подстанций; РП.
39. Способы подключения предприятий к энергосистеме.
40. Схемы электроснабжения при наличии электроприемников особой группы I категории.
41. Характерные схемы электроснабжения предприятий при питании их от ЭЭС.
42. Питание предприятий от ЭЭС при наличии собственных ТЭЦ.
43. Двухступенчатые схемы электроснабжения.
44. Выбор номинального напряжения схемы внешнего электроснабжения.
45. Выбор напряжения распределительной сети.
46. Выбор рационального напряжения с помощью метода планирования эксперимента.
47. Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП (ПГВ).
48. Выбор и проверка высоковольтных кабелей.
49. Прокладка высоковольтных кабелей и область их применения.
50. Выбор низковольтных компенсирующих устройств.
51. Определение экономически целесообразной реактивной мощности, генерируемой синхронными двигателями.
52. Влияние категории надежности электроснабжения электроприемников и допустимых систематических перегрузок оборудования на выбор схемы.
53. Балансовые расчеты реактивной мощности. Выбор ВКУ.
54. Естественная компенсация реактивной мощности.
55. Режимы нейтрали в распределительных сетях.
56. Влияние категории надежности электроснабжения электроприемников и допустимых систематических перегрузок оборудования на выбор схемы.
57. Расчет емкостного тока замыкания на землю. допустимые токи замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью.
58. Компенсация емкостного тока замыкания на землю.



## Пример билета на экзамен

### Билет №1

#### Экзаменационный билет №1

1. Структура и параметры систем электроснабжения.
2. Пункты приема электроэнергии.
3. Задача.

*Полный комплект экзаменационных билетов хранится на кафедре.*

## **9. Карта обеспеченности дисциплины кадрами профессорско-преподавательского состава**

Лекции	Практические занятия	Контроль за качеством знаний студентов	Экзамен
Зав. каф. энергетики, проф. Савина Н.В.	ст.преп. Панькова Д.Н.	проф. Савина Н.В., ст.преп. Панькова Д.Н.	проф. Савина Н.В.

## 10. Список использованных источников

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: изд-во: «Мастерство» 2002
2. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: учеб. пособие – М.: форум: Инфра. – М. 2006.- 480 с.
3. Правила устройства электроустановок. 7 редакция.
4. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. РД 34.20.185-94. 1995.
5. Указания по определению электрических нагрузок в промышленных установках. 1991.
6. Руководящие материалы по проектированию с/х. 1999.
7. Методика расчета нормативных (технологических) потерь электроэнергии в электрических сетях. Минпромэнерго. 2005.
8. Электротехнический справочник. Том 3 / под ред. А.И. Попова М.: Изд-во МЭИ. 2002
9. Кудрин Б.И, Электроснабжение промышленных предприятий учебник для вузов. М. Энергоатомиздат. 1995
10. Справочник по проектированию электроснабжения. Электроустановки промышленных предприятия / Под ред. Ю.Г. Барыбина. 1991.
11. А.А. Федоров, Л.Е. Старкова. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий.
12. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. Круповича. М.: Энергия, 1981.
13. Козлов В.А. Электроснабжение городов. 1988.
14. Справочник: Комплектные электротехнические устройства. М.: Энергоатомиздат, 1991.
15. В.А.Козлов. Городские распределительные электрические сети. - Л.: Энергоиздат, 1982.
16. Б.Ю. Липкин. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. - М.: Высшая школа, 1990.
17. Ю.А.Фокин. Схемы городских электрических сетей - М.: МЭИ, 1989.
18. Б.Н.Кудрин. Электроснабжение промышленных предприятий- М.: Энергоатомиздат, 1985.
19. В.А.Козлов. Электроснабжение городов- Л.: Энергоиздат, 1988.

## Периодические издания (профессиональные журналы)

1. Энергетик
2. Промышленная энергетика.
3. Электрика
4. Вестник МЭИ
5. Известия вузов «Энергетика»
6. Новости электротехники
7. Электричество
8. Электрические станции
9. Известия РАН
10. Энергетика

## Информационное обеспечение дисциплины

1. Центральное Диспетчерское управление (ЦДУ) ЕЭС России  
<http://www.cdu.elektra.ru/>
2. Служба релейной защиты и автоматики ЦДУ ЕЭС России  
<http://www.cdu.elektra.ru/rza/>
3. Объединённое Диспетчерское Управление энергосистемами Востока (ОДУ Востока) <http://www.oduv.ru/>
4. ОАО "АМУРЭНЕРГО" <http://www.ae.amur.ru/>
5. ОАО "ДАЛЬЭНЕРГО"  
<http://www.dalenergo.org/>
6. ОАО "ЗЕЙСКАЯ ГЭС" <http://www.rao-ees.ru/zges/>
7. ФОРЭМ <http://www.cdrforem.ru/>