

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

_____ Е.И.Луковникова

« _____ » декабря 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ**

Б1.Б.19

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ

Электроснабжение

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Стр.

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	4
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	5
3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ	6
3.1 Распределение объема дисциплины по формам обучения.....	6
3.2 Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости	6
4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	7
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий	7
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам	15
4.3 Лабораторные работы.....	63
4.4 Практические занятия.....	64
4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....	64
5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	66
6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....	67
7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	67
8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	68
9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	69
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ / практических работ.....	69
9.2. Методические указания по выполнению курсового проекта	77
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	77
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	78
Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....	79
Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины	92
Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе	93

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к научно-исследовательскому, производственно-технологическому и проектно-конструкторскому видам профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

Целью изучения дисциплины является:

Формирование знаний о создании и режимах работы систем электроснабжения промышленных предприятий.

Задачи дисциплины

- изучение характеристик приёмников электрической энергии;
- освоение методов расчёта электрических нагрузок;
- определение показателей качества электрической энергии;
- изучение методов экономии электроэнергии в элементах систем электроснабжения.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ОПК-2	способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	знать: – методы расчёта систем электроснабжения. уметь: - выполнять расчёты в области электроснабжения. владеть: – навыками расчёта систем электроснабжения.
ПК-1	способность участвовать в планировании, подготовке и выполнении типовых экспериментальных исследований по заданной методике	знать: – методы проведения экспериментальных исследований в электроснабжении. уметь: - проводить экспериментальные исследования по заданной методике. владеть: – навыками планирования к подготовке и выполнению типовых исследований по заданной методике.
ПК-2	способность обрабатывать результаты эксперимента	знать: – методы обработки экспериментальных данных в электроснабжении. уметь: - проводить анализ экспериментальных данных. владеть: – навыками обработки экспериментальных данных.
ПК-3	способность принимать участие в проектировании объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической	знать: – структуру и параметры систем электроснабжения. уметь: - разрабатывать и оформлять чертежно-техническую документацию и пояснительные записки в соответствии с требованиями.

	документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования	владеть: – навыками проектирования схем электроснабжения.
ПК-4	способность проводить обоснование проектных решений	знать: – методы технико-экономического сравнения в электроснабжении. уметь: - выполнять технико-экономическое сравнение вариантов. владеть: – навыками осуществления технико-экономического сравнения вариантов.
ПК-5	готовность определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности	знать: – основные параметры оборудования систем электроснабжения. уметь: - осуществлять выбор оборудования систем электроснабжения. владеть: – навыками выбора оборудования систем электроснабжения.
ПК-6	способность рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности	знать: – методы расчета режимов работы систем электроснабжения. уметь: - определять параметры режимов работы систем электроснабжения. владеть: –навыками расчета режимов работы систем электроснабжения.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.Б.19 Электроснабжение относится к базовой части.

Дисциплина Электроснабжение базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин, как: Теоретические основы электротехники, Электрические станции и подстанции, Электроэнергетические системы и сети.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, Электроснабжение представляет основу для изучения дисциплин: Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем. Основы проектирования систем электроснабжения, Оптимизация режимов работы электрических сетей промышленных предприятий.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовой проект	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная (2015, 2016 годы набора)	3	5	180	68	17	17	34	85	КП	экзамен
Очная (2017, 2018 годы набора)	3	5	180	85	34	17	34	68	КП	экзамен
Заочная (2014 год набора)	4	-	180	22	6	6	10	149	Контрольная работа	экзамен
Заочная (2015 ÷ 2018 годы набора)	4	-	180	18	4	4	10	153	КП	экзамен
Заочная ускоренная	2	-	180	14	4	4	6	13	КП	экзамен

3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости - для очной формы обучения 2015, 2016 годов набора.

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			5
1	2	3	4
I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)	68	-	68
Лекции (Лк)	17	10	17
Лабораторные работы (ЛР)	17	-	17
Практические занятия (ПЗ)	34	10	34
Курсовой проект	+	-	+
Групповые (индивидуальные) консультации	+	-	+
II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)	85	-	85
Подготовка к лабораторным работам	20	-	20
Подготовка к практическим занятиям	20	-	20
Подготовка к экзамену в течение семестра	23	-	23
Выполнение курсового проекта	22	-	22
III. Промежуточная аттестация	экзамен	-	27
	зачет	-	-
Общая трудоемкость дисциплины	час.	-	180
	зач. ед.	-	5

- для очной формы обучения 2017, 2018 годов набора.

Вид учебных занятий	Трудо- емкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, иннова- ционной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			5
1	2	3	4
I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)	85	-	85
Лекции (Лк)	34	10	34
Лабораторные работы (ЛР)	17	-	17
Практические занятия (ПЗ)	34	10	34
Курсовой проект	+	-	+
Групповые (индивидуальные) консультации	+	-	+
II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)	68	-	68
Подготовка к лабораторным работам	20	-	20
Подготовка к практическим занятиям	20	-	20
Подготовка к экзамену в течение семестра	23	-	23
Выполнение курсового проекта	22	-	22
III. Промежуточная аттестация	экзамен	27	27
	зачет	-	-
Общая трудоемкость дисциплины	час.	180	180
	зач. ед.	5	5

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для очной формы обучения 2015, 2016 годов набора:

№ раз- дела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудо- ем- кость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоёмкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоятельная работа обучаю- щихся*
			лекции	лабораторные работы	практи- ческие занятия	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Общая характеристика систем электроснабжения объектов	55	3	17	20	15
1.1.	Характеристика системы электроснабжения	20,7	0,7	6	8	4
1.2.	Упрощенная структура систем электроснабжения	4,7	0,7	-	-	4
1.3.	Основные требования, предъявляемые к СЭС	16,7	0,7	6	8	4
1.4.	Проектирование систем электроснабжения	12,9	0,9	5	4	3
2.	Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии	18	3	-	-	15

2.1.	Классификация и характеристика электроустановок	6	1	-	-	5
2.2.	Классификация приемников электрической энергии	6	1	-	-	5
2.3.	Характеристика приемников электрической энергии	6	1	-	-	5
3.	Графики электрических нагрузок	18	3	-	-	15
3.1.	Краткая характеристика графиков нагрузок	3,6	0,6	-	-	3
3.2.	Графики нагрузок индивидуальных приемников	3,6	0,6	-	-	3
3.3.	Групповые графики электрических нагрузок	3,6	0,6	-	-	3
3.4.	Годовые графики нагрузок	3,6	0,6	-	-	3
3.5.	Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок	3,6	0,6	-	-	3
4.	Основные характеристики электрических нагрузок	18	3	-	-	15
4.1.	Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники	8,5	1,5	-	-	8
4.2.	Показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников	8,5	1,5	-	-	7
5.	Методы определения расчетных электрических нагрузок	32	3	-	14	15
5.1.	Основные методы расчета электрических нагрузок	8,6	0,6	-	6	2
5.2.	Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок	10,6	0,6	-	8	2
5.3.	Расчетные нагрузки однофазных электроприемников	2,6	0,6	-	-	2
5.4.	Определение пиковых нагрузок	2,6	0,6	-	-	2
5.5.	Расчетные нагрузки осветительных электроустановок	2,6	0,6	-	-	2
5.6.	Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок	3,3	0,3	-	-	3
5.7.	Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС	2,3	0,3	-	-	2
6.	Картограмма электрических нагрузок	12	2	-	-	10
6.1.	Общие положения	3,8	0,8	-	-	3
6.2.	Построение картограммы нагрузок	3,7	0,7	-	-	3
6.3.	Определение центра электрических нагрузок	4,5	0,5	-	-	4
ИТОГО		153	17	17	34	85

- для очной формы обучения 2017, 2018 годов набора:

№ раз- дела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоем- кость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоёмкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоятельная работа обучаю- щихся*
			лекции	лабораторные работы	практи- ческие занятия	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Общая характеристика систем электроснабжения объектов	55	6	17	20	12
1.1.	Характеристика системы электроснабжения	18,7	1,4	6	8	3,3
1.2.	Упрощенная структура систем электроснабжения	4,7	1,4	-	-	3,3
1.3.	Основные требования, предъявляемые к СЭС	18,7	1,4	6	8	3,3
1.4.	Проектирование систем электроснабжения	12,9	1,8	5	4	2,1
2.	Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии	18	6	-	-	12
2.1.	Классификация и характеристика электроустановок	6	2	-	-	4
2.2.	Классификация приемников электрической энергии	6	2	-	-	4
2.3.	Характеристика приемников электрической энергии	6	2	-	-	4
3.	Графики электрических нагрузок	18	6	-	-	12
3.1.	Краткая характеристика графиков нагрузок	3,6	1,2	-	-	2,4
3.2.	Графики нагрузок индивидуальных приемников	3,6	1,2	-	-	2,4
3.3.	Групповые графики электрических нагрузок	3,6	1,2	-	-	2,4
3.4.	Годовые графики нагрузок	3,6	1,2	-	-	2,4
3.5.	Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок	3,6	1,2	-	-	2,4
4.	Основные характеристики электрических нагрузок	18	6	-	-	12
4.1.	Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники	9,5	3	-	-	6,5
4.2.	Показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников	8,5	3	-	-	5,5
5.	Методы определения расчетных электрических нагрузок	32	6	-	14	12

5.1.	Основные методы расчета электрических нагрузок	8,6	1,2	-	6	1,4
5.2.	Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок	10,6	1,2	-	8	1,4
5.3.	Расчетные нагрузки однофазных электроприемников	2,6	1,2	-		1,4
5.4.	Определение пиковых нагрузок	2,6	1,2	-	-	1,4
5.5.	Расчетные нагрузки осветительных электроустановок	2,6	1,2	-	-	1,4
5.6.	Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок	3,3	0,6	-	-	2,7
5.7.	Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС	2,3	0,6	-	-	1,7
6.	Картограмма электрических нагрузок	12	4	-	-	8
6.1.	Общие положения	3,8	1,6			2,2
6.2.	Построение картограммы нагрузок	3,7	1,4	-	-	2,3
6.3.	Определение центра электрических нагрузок	4,5	1	-	-	3,5
ИТОГО		153	34	17	34	68

- для заочной формы обучения 2014 года набора:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоятельная работа обучающихся*
			лекции	лабораторные работы	практические занятия	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Общая характеристика систем электроснабжения объектов	34,5	2,5	6	5	21
1.1.	Характеристика системы электроснабжения	13,6	0,6	3	2	8
1.2.	Упрощенная структура систем электроснабжения	8,6	0,6	-	-	8
1.3.	Основные требования, предъявляемые к СЭС	7,6	0,6	3	2	2
1.4.	Проектирование систем электроснабжения	7,7	0,7	3	1	3
2.	Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии	25,5	0,5	-	-	25
2.1.	Классификация и характеристика электроустановок	8,2	0,2	-	-	8
2.2.	Классификация приемников электрической энергии	8,2	0,2	-	-	8
2.3.	Характеристика приемников электрической энергии	7,1	0,1	-	-	7

3.	Графики электрических нагрузок	25,5	0,5	-	-	25
3.1.	Краткая характеристика графиков нагрузок	5,1	0,1	-	-	5
3.2.	Графики нагрузок индивидуальных приемников	5,1	0,1	-	-	5
3.3.	Групповые графики электрических нагрузок	5,1	0,1	-	-	5
3.4.	Годовые графики нагрузок	5,1	0,1	-	-	5
3.5.	Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок	5,1	0,1	-	-	5
4.	Основные характеристики электрических нагрузок	25,5	0,5	-	-	25
4.1.	Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники	12,25	0,25	-	-	12
4.2.	Показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников	13,25	0,25	-	-	13
5.	Методы определения расчетных электрических нагрузок	31	1	-	5	25
5.1.	Основные методы расчета электрических нагрузок	6,1	0,1	-	2	4
5.2.	Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок	7,1	0,1	-	3	4
5.3.	Расчетные нагрузки однофазных электроприемников	4,2	0,2	-	-	4
5.4.	Определение пиковых нагрузок	4,2	0,2	-	-	4
5.5.	Расчетные нагрузки осветительных электроустановок	4,2	0,2	-	-	4
5.6.	Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок	3,1	0,1	-	-	3
5.7.	Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС	2,1	0,1	-	-	2
6.	Картограмма электрических нагрузок	29	1	-	-	28
6.1.	Общие положения	9,2	0,2	-	-	9
6.2.	Построение картограммы нагрузок	9,4	0,4	-	-	9
6.3.	Определение центра электрических нагрузок	10,4	0,4	-	-	10
	ИТОГО	171	6	6	10	149

- для заочной формы обучения 2015 ÷ 2018 годов набора:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоятельная работа обучающихся*
			лекции	лабораторные работы	практические занятия	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Общая характеристика систем электроснабжения объектов	34,5	0,5	4	5	25
1.1.	Характеристика системы электроснабжения	12,1	0,1	1	2	9
1.2.	Упрощенная структура систем электроснабжения	9,1	0,1	-	-	9
1.3.	Основные требования, предъявляемые к СЭС	6,1	0,1	1	2	3
1.4.	Проектирование систем электроснабжения	7,2	0,2	2	1	4
2.	Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии	25,5	0,5	-	-	25
2.1.	Классификация и характеристика электроустановок	8,2	0,2	-	-	8
2.2.	Классификация приемников электрической энергии	8,2	0,2	-	-	8
2.3.	Характеристика приемников электрической энергии	7,1	0,1	-	-	7
3.	Графики электрических нагрузок	25,5	0,5	-	-	25
3.1.	Краткая характеристика графиков нагрузок	5,1	0,1	-	-	5
3.2.	Графики нагрузок индивидуальных приемников	5,1	0,1	-	-	5
3.3.	Групповые графики электрических нагрузок	5,1	0,1	-	-	5
3.4.	Годовые графики нагрузок	5,1	0,1	-	-	5
3.5.	Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок	5,1	0,1	-	-	5
4.	Основные характеристики электрических нагрузок	25,5	0,5	-	-	25
4.1.	Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники	12,25	0,25	-	-	12
4.2.	Показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников	13,25	0,25	-	-	13
5.	Методы определения расчетных электрических нагрузок	31	1	-	5	25

5.1.	Основные методы расчета электрических нагрузок	6,1	0,1	-	2	4
5.2.	Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок	7,1	0,1	-	3	4
5.3.	Расчетные нагрузки однофазных электроприемников	4,2	0,2	-	-	4
5.4.	Определение пиковых нагрузок	4,2	0,2	-	-	4
5.5.	Расчетные нагрузки осветительных электроустановок	4,2	0,2	-	-	4
5.6.	Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок	3,1	0,1	-	-	3
5.7.	Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС	2,1	0,1	-	-	2
6.	Картограмма электрических нагрузок	29	1	-	-	28
6.1.	Общие положения	9,2	0,2	-	-	9
6.2.	Построение картограммы нагрузок	9,4	0,4	-	-	9
6.3.	Определение центра электрических нагрузок	10,4	0,4	-	-	10
ИТОГО		171	4	4	10	153

- для заочной ускоренной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоятельная работа обучающихся*
			лекции	лабораторные работы	практические занятия	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Общая характеристика систем электроснабжения объектов	10,5	0,5	4	4	2
1.1.	Характеристика системы электроснабжения	2,6	0,1	1	1	0,5
1.2.	Упрощенная структура систем электроснабжения	0,6	0,1	-	-	0,5
1.3.	Основные требования, предъявляемые к СЭС	3,6	0,1	1	2	0,5
1.4.	Проектирование систем электроснабжения	3,7	0,2	2	1	0,5
2.	Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии	3,5	0,5	-	-	3
2.1.	Классификация и характеристика электроустановок	1,2	0,2	-	-	1
2.2.	Классификация приемников электрической энергии	1,2	0,2	-	-	1
2.3.	Характеристика приемников электрической энергии	1,1	0,1	-	-	1

3.	Графики электрических нагрузок	2,5	0,5	-	-	2
3.1.	Краткая характеристика графиков нагрузок	0,5	0,1	-	-	0,4
3.2.	Графики нагрузок индивидуальных приемников	0,5	0,1	-	-	0,4
3.3.	Групповые графики электрических нагрузок	0,5	0,1	-	-	0,4
3.4.	Годовые графики нагрузок	0,5	0,1	-	-	0,4
3.5.	Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок	0,5	0,1	-	-	0,4
4.	Основные характеристики электрических нагрузок	2,5	0,5	-	-	2
4.1.	Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники	1,22	0,25	-	-	1
4.2.	Показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников	1,25	0,25	-	-	1
5.	Методы определения расчетных электрических нагрузок	5	1	-	2	2
5.1.	Основные методы расчета электрических нагрузок	1,35	0,1	-	1	0,25
5.2.	Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок	1,35	0,1	-	1	0,25
5.3.	Расчетные нагрузки однофазных электроприемников	1,45	0,2	-	-	0,25
5.4.	Определение пиковых нагрузок	1,45	0,2	-	-	0,25
5.5.	Расчетные нагрузки осветительных электроустановок	1,7	0,2	-	-	0,5
5.6.	Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок	0,3	0,1	-	-	0,2
5.7.	Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС	0,4	0,1	-	-	0,3
6.	Картограмма электрических нагрузок	3	1	-	-	2
6.1.	Общие положения	1	0,3	-	-	0,7
6.2.	Построение картограммы нагрузок	1,1	0,4	-	-	0,7
6.3.	Определение центра электрических нагрузок	0,9	0,3	-	-	0,6
	ИТОГО	27	4	4	6	13

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

Раздел 1. Общая характеристика систем электроснабжения объектов

Тема 1.1. Характеристика системы электроснабжения

Предприятие является потребителем электроэнергии (абонентом) а система электроснабжения это совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения его электрической энергией.

Основными характеристиками СЭС являются:

- качественные характеристики;
- количественные характеристики;
- условия функционирования.

При проектировании на основании исходных данных – количественных характеристик и условий эксплуатации, необходимо обеспечить качественные характеристики СЭС.

Качественные характеристики СЭС – определяют работоспособность системы и характеризуются структурой и свойствами СЭС, а также условиями ее эксплуатации. Качественные характеристики в основном определяются требованиями к СЭС.

Количественные характеристики СЭС определяются количественными характеристиками ЭП их территориальным размещением и, как следствие, структурой СЭС.

Условия функционирования СЭС определяются влиянием условий окружающей природной среды, технико-технологическими и организационно-экономическими условиями.

В процессе эксплуатации СЭС необходимо рассматривать три возможных режима ее работы.

Нормальный режим СЭС – установившийся режим работы системы, при котором обеспечивается бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией в необходимом количестве и установленного качества и продолжающийся как угодно долго.

Аварийный режим СЭС – кратковременный переходный режим, связанный с нарушением нормального режима и продолжающийся до отключения поврежденного элемента системы.

Послеаварийный режим СЭС – режим, в котором находится система в результате нарушения, и длящийся до восстановления нормального режима после локализации отказа.

Тема 1.2. Упрощенная структура систем электроснабжения

Электроснабжение – обеспечение потребителей электрической энергией.

Система электроснабжения (СЭС) – совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электрической энергией [1].

Границы СЭС определены вниз от границы раздела потребитель - энергоснабжающая организация (граница балансовой принадлежности) до индивидуального электроприемника.

Упрощенная схема электроснабжения объекта включает:

- источник питания (ИП);
- линии электропередачи (ЛЭП), осуществляющих транспорт электрической энергии от ИП к предприятию;
- пункта приема электрической энергии (ППЭ);
- распределительные сети;
- приемники электрической энергии (ЭП).

На рис. 1 представлена упрощенная структура электроснабжения объекта.

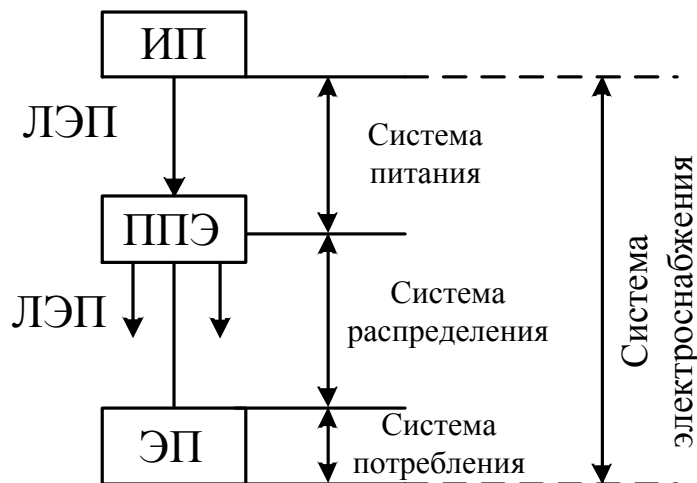


Рисунок 1 Структура электроснабжения объекта

Систему электроснабжения предприятия можно условно разбить на 3 части: систему питания, систему распределения и систему потребления.

В качестве ИП могут быть:

- электрическая станция или подстанция энергосистемы;
- электрическая станция предприятия.

Собственная электростанция на предприятии строится в следующих случаях:

- при большом потреблении тепла;
- при размещении предприятия в удаленных районах, имеющих слабые электрические связи с энергосистемой;

- при наличии специальных требований к надежности электроснабжения;

При выборе ИП необходимо учитывать следующие факторы:

- признаки качества электроснабжения (надежность, напряжение, частота и допустимые пределы их отклонения);
- величину мощности и напряжения питания потребителей.

В качестве ШПЭ может быть:

- подстанция глубокого ввода (ПГВ), служит, как правило, для питания локального объекта или мощного обособленного производства предприятия и находится в центре электрических нагрузок объекта (производства).

- главная понизительная подстанция (ГПП), служит для питания нескольких потребителей (объектов).

Схемы с одним ШПЭ следует применять при отсутствии специальных требований к надежности питания ЭП и компактном их расположении на территории предприятия.

Схемы с двумя и более ШПЭ следует применять:

- при наличии специальных требований к надежности электроснабжения;
- при наличии на предприятиях двух и более относительно мощных обособленных групп потребителей;

- во всех случаях, когда применение нескольких ШПЭ целесообразно по экономическим соображениям;

- при поэтапном развитии предприятия, когда для питания вновь вводимых мощных узлов нагрузок в будущем целесообразно сооружение отдельного ШПЭ.

Питание ШПЭ при наличии ЭП первой категории осуществляется от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. При этом питание ШПЭ осуществляется по двум одноцепным воздушным линиям или по двум кабельным линиям, проложенным по разным трассам [2].

При выходе из строя одной линии оставшаяся в работе должна обеспечить питание всех ЭП первой категории, а также ЭП второй и третьей категорий, работа которых необходима для

безаварийного функционирования основных производств технологического процесса предприятия.

Тема 1.3. Основные требования, предъявляемые к СЭС

Требования, предъявляемые к системе электроснабжения предприятий, в основном, зависят от характера электрических нагрузок, особенностей технологии производства, климатических условий, загрязненности окружающей среды и других факторов.

Экономичность систем электроснабжения

Система электроснабжения удовлетворяет требованиям экономичности если затраты на ее создание, эксплуатацию и развитие должны быть минимальны или минимальный срок окупаемости.

Технико-экономические расчеты (ТЭР) выполняется по предприятию в целом, так как основные доходы поступают от реализации продукции основного производства.

При выполнении учебных проектов экономические расчеты при проектировании СЭС предприятия ограничиваются сравнением технических решений. При сравнении вариантов необходимо, чтобы они были технически равноценны и экономически сопоставимы.

При равенстве показателей вариантов или незначительной разнице (5-10 %) следует отдавать предпочтение тому варианту, у которого лучше качественные показатели, который более перспективен с точки зрения развития предприятия (например, с более гибкой и удобной в эксплуатации схемой, новейшим оборудованием и т.п.).

Надежность электроснабжения потребителей

Надежность любой системы – это ее свойство выполнять заданные функции в заданном объеме и требуемого качества при определенных условиях функционирования. Применительно к СЭС одной из основных функций является бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией в необходимом количестве и установленного качества. Надежность является сложным комплексным свойством и в зависимости от назначения объекта и условий функционирования может включать ряд единичных свойств (отдельно или в сочетании), основными из которых являются: сохраняемость, долговечность, безотказность, ремонтпригодность, режимная управляемость, устойчивость и живучесть.

Для характеристики надежности объектов энергетики определяются основные показатели надежности: параметр потока отказов, время восстановления, и вспомогательные – частота ремонтов и их продолжительность. Показатели надежности определяются для узла нагрузки главной схемы СЭС с учетом режима работы СЭС (нормальный, аварийный, послеаварийный).

Для определения оптимального уровня надежности электроснабжения потребителей необходимо знать величину ожидаемого годового ущерба при перерывах электроснабжения, который определяется особенностями технологического процесса с учетом частоты и длительности перерывов электроснабжения.

Основные способы повышения надежности СЭС:

- повышение надежности источников питания;
- повышение надежности отдельных элементов СЭС;
- уменьшение числа последовательно включенных элементов в СЭС;
- усовершенствование релейной защиты и автоматики СЭС;
- совершенствование системы технического обслуживания и ремонта электроустановок;
- повышение квалификации обслуживающего персонала.

Таким образом, повышение надежности СЭС является комплексной задачей, которая может быть решена на основе технологического и экономического анализа режимов СЭС, условий ее функционирования.

Выполнение своих функций при определенных условиях

Одним из основных условий функционирования электроустановок и СЭС в целом являются надежная работа при воздействии условий окружающей природной среды (погодно-климатические условия) и технико-технологических условий.

Поэтому, при выборе элементов СЭС, необходимо учитывать: как климатические условия эксплуатации (макроклимат, включая загрязнение окружающей среды), так и технико-технологические условия эксплуатации (микроклимат: температура, влажность, запыленность, химически-агрессивные и пожаро-взрывоопасные зоны).

Безопасность и удобство эксплуатации

Безопасность СЭС – это свойство СЭС сохранять с некоторой вероятностью безопасное состояние при выполнении заданных функций в условиях, установленных нормативно-технической документацией (монтаж, эксплуатация и проведение ремонтных работ).

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от воздействия электрического тока, электромагнитного поля и статического электричества.

Возможность дальнейшего развития

На этапе проектирования СЭС должна, предусмотрена возможность ее реконструкции, при развитии производства предприятия, без значительных капитальных затрат.

Тема 1.4. Проектирование систем электроснабжения

Для правильного решения всех задач проектирования СЭС необходимо строго соблюдать как требования к СЭС (экономичность, надежность, безопасность), так и условия ее функционирования, особенно технико-технологические условия, и режимы работы ЭП.

При проектировании, и построении систем электроснабжения промышленных предприятий следует предусмотреть [1]:

- гибкость системы и оптимизацию параметров путем выбора номинальных напряжений;
- требования к надежности и качеству электроснабжения с учетом возможных режимов работы СЭС;
- рациональное число и мощность трансформаторов;
- требования к схемам и конструкциям РУ;
- ограничение токов короткого замыкания;
- средства компенсации реактивной мощности и регулирование напряжения;
- мероприятия по снижению потерь электроэнергии;
- системы обслуживания и ремонта электрооборудования и т.д.

Основные этапы разработки и построения СЭС

- Определение условий получения электроэнергии от энергосистемы и необходимости строительства собственной электростанции;
- Анализ потребителей электрической энергии по следующим признакам: технологическим, территориальным, напряжению и роду тока, надежности, характеру нагрузки. По каждой группе определяется величина расчетной нагрузки.
- Определение типа ППЭ, РП, ТП, числа секций (систем) шин и питающих вводов и их размещение на генеральном плане предприятия;
- Выбор и обоснование связей между ИП и ППЭ, между ППЭ и РП, ТП, ПП;
- Формирование окончательного варианта структуры СЭС.

Основные принципы проектирования и построения схемы СЭС

- Максимальное приближение высокого напряжения к потребителям;
- Отказ от «холодного резервирования» в схемах;
- Секционирование на всех уровнях СЭС;
- Выбор оптимального режима работы элементов СЭС.

В большинстве случаев для СЭС предприятий в нормальном режиме применяются разомкнутые схемы работы элементов.

Основные задачи, решаемые при проектировании СЭС

- Определение электрических нагрузок характерных групп ЭП и узлов нагрузок, а также проектируемого объекта в целом;
- Определение структуры СЭС: числа и места размещения ППЭ, РП, ТП, числа и мощности силовых трансформаторов, средств компенсации реактивной мощности, схем электрических соединений элементов СЭС;
- Определение рационального напряжения системы питания и распределения электрической энергии;
- Выбор способа транспорта электрической энергии, как системы питания, так и системы распределения;
- Выбор конструктивного исполнения ЭУ и типов электрооборудования с учетом условий их функционирования, требований надежности, экономичности и безопасности;
- Определение технических средств для обеспечения электробезопасности при ее эксплуатации.

Решение задач проектирования и эксплуатации СЭС постоянно усложняется т.к. совершенствуются и внедряются новые энергосберегающие технологии, обновляется электрооборудование, повышаются требования к качеству электрической энергии и надежности электроснабжения.

Таким образом, проектирование системы электроснабжения является трудоемкой и многофункциональной задачей, для решения которой необходимо применение вычислительной техники при расчете нагрузок и оптимизации распределения электроэнергии, как внутри предприятия, так и по его подразделениям.

Раздел 2. Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии

Тема 2.1. Классификация и характеристика электроустановок

Система электроснабжения связана с технологическим процессом производства через электроустановки и приемники электрической энергии.

Электрическая установка (ЭУ) – совокупность машин, аппаратов, линий электропередачи, вспомогательного оборудования, предназначенных для производства, преобразования, передачи, накопления, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии.

Согласно ПУЭ все ЭУ подразделяются на ЭУ до и выше 1 кВ. ЭУ могут работать как с изолированной, так и с глухозаземленной нейтралью. ЭУ выше 1 кВ подразделяются на установки с малыми и большими токами замыкания на землю.

Укрупнено, основную часть ЭУ можно разделить на следующие группы:

- силовые общепромышленные установки;
- преобразовательные установки;
- электротермические установки;
- электросварочные установки;
- осветительные установки.

Силовые общепромышленные ЭУ: компрессорные, вентиляционные, насосные и т.п. Потребители этой группы создают нагрузку равномерную и симметричную по всем трем фазам. Мощность их колеблется в широких пределах от единиц до сотен кВт. Коэффициент мощности достаточно стабилен в пределах $0,8 \div 0,85$. По надежности электроснабжения их следует отнести к электроприемникам 1-й категории.

Преобразовательные ЭУ предназначены для преобразования трехфазного переменного тока в постоянный, преобразования промышленной частоты 50 Гц в токи частотой отличающейся от 50

Гц. Потребители этой группы создают нагрузку, на стороне первичного напряжения, по всем трем фазам симметричную и равномерную. Мощность их колеблется в широких пределах от десятков до тысяч кВт. Коэффициент мощности колеблется в пределах $0,6 \div 0,8$. Перерыв питания ЭУ в основном связан с недоотпуском продукции. Поэтому их следует отнести к потребителям 2-й категории.

Электротермические ЭУ – дуговые, индукционные и печи сопротивления.

- Дуговые печи (сталеплавильные, печи для плавки цветных металлов, рудотермические печи). Нагрузка, на стороне первичного напряжения понижающего трансформатора, симметричная и равномерная. Мощность их колеблется в широких пределах от десятков до сотен тысяч кВт. Коэффициент мощности колеблется в пределах $0,7 \div 0,8$. По надежности электроснабжения их следует отнести к электроприемникам 1-й категории.

- Индукционные плавильные и закалочные печи (высокочастотные). Электроприемники этой группы представляют симметричную трехфазную нагрузку, на стороне первичного напряжения силовых трансформаторов. Мощность их колеблется в широких пределах от десятков до сотен кВт. Коэффициент мощности колеблется в пределах $0,7 \div 0,8$. Перерыв электроснабжения ЭУ в основном связан с недоотпуском продукции. Поэтому, по надежности электроснабжения, их следует отнести к электроприемникам 2-й категории.

- Печи сопротивления. Эти ЭП выполняются как трехфазными, так и однофазными. Трехфазные печи сопротивления создают симметричную нагрузку по фазам. Однофазные печи – не симметричную нагрузку. Мощность их колеблется от единиц до десятков кВт. Коэффициент мощности практически можно принимать единице. По надежности электроснабжения их следует отнести к потребителям 2-й категории.

Электросварочные ЭУ работают как на переменном, так и на постоянном токе.

Электросварочные установки переменного тока могут быть трехфазными и однофазными. Режим работы повторно-кратковременный. Электросварочные установки постоянного тока состоят из преобразовательного агрегата, как правило, трехфазного. Нагрузка в питающей сети переменного тока распределяется по трем фазам равномерно, но сохраняет неравномерный график нагрузки. Коэффициент мощности электросварочных установок (для ручной сварки) колеблется в пределах $0,3 \div 0,5$. По надежности электроснабжения их следует отнести к электро-приемникам 3-й категории.

Электроосветительные установки представляют однофазную нагрузку. Благодаря небольшой мощности электроприемника и при правильном распределении нагрузки по фазам можно считать нагрузку симметричной. Характер нагрузки равномерный. Коэффициент мощности зависит от типа источника света. В тех производствах, где отключение освещения угрожает безопасности людей, применяются специальные системы аварийного освещения.

Тема 2.2. Классификация приемников электрической энергии

Приемник электрической энергии (ЭП) – электротехническое устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии в другой вид энергии (или электрическую энергию, но с другими параметрами).

Специфика технологических процессов различных производств предъявляет определенные требования к характеристикам и конструктивному исполнению электроприемников и, как следствие, большому их разнообразию.

Все ЭП классифицируются по различным показателям:

- по электротехническим показателям;
- по режиму работы;
- по надежности электроснабжения;
- по исполнению защит от воздействия окружающей среды.

Рассмотрим более подробно классификацию электроприемников по их показателям.

По электротехническим показателям

Из всего многообразия электроприемники силовых общепромышленных электроустановок можно разделить на:

- ЭП трехфазного тока напряжением выше 1 кВ, частотой 50 Гц;
- ЭП трехфазного тока напряжением до 1 кВ, частотой 50 Гц;
- ЭП однофазного тока напряжением до 1 кВ, частотой 50 Гц;
- ЭП, работающие с частотой отличной от 50 Гц;
- ЭП постоянного тока.

По режиму работы

Продолжительный режим работы

Электроприемники, работающие в номинальном режиме с продолжительно неизменной или малоизменяющейся нагрузкой. В этом режиме электрический аппарат (машина) может работать длительное время, температура его частей может достигать установившихся значений, без превышения температуры свыше допустимой. Пример: Электрические двигатели насосов, компрессоров, вентиляторов и т.п.

Кратковременный режим работы

Кратковременный режим работы электроприемника (электродвигателя) характеризуется тем, что ЭП работает при номинальной мощности в течении времени, когда его температура не успевает достичь установившегося значения. При отключении (ЭП не работает) его температура успевает снижаться до температуры окружающей среды. Пример: Электродвигатели вспомогательных механизмов, гидрозатворов и т.п.

Повторно-кратковременный режим работы

При повторно-кратковременном режиме работы (ПКР) электроприемника кратковременные рабочие периоды с определенной нагрузкой чередуются с паузами (ЭП отключен). Продолжительность рабочих периодов и пауз не настолько велика, чтобы нагрев отдельных частей ЭП при неизменной температуре окружающей среды могли достигнуть установившихся значений.

Повторно-кратковременный режим работы характеризуется относительной продолжительностью включения (ПВ, % - паспортная величина) или коэффициентом включения (k_B). Коэффициент включения рассчитывается по графику нагрузки ЭП как отношение времени включения (t_B) к времени всего цикла ($t_{Ц}$).

$$k_B = t_B / t_{Ц}, \quad (2.1)$$

где t_B — время включения (время работы), с., мин., ч.; $t_{Ц} = t_B + t_{П}$ — время полного цикла, с., мин., ч.; $t_{П}$ — время паузы, с., мин., ч.

Пример: электродвигатели кранов, сварочные аппараты и т.п.

По надежности электроснабжения

В отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники подразделяются на следующие три категории [1]:

Электроприемники I категории — электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего основного оборудования; массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства. Электроприемники I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания.

Из состава электроприемников I категории выделяется особая группа электроприемников — бесперебойная работа которых необходима для предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования. Для электроснабжения особой

группы электроприемников I категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого, взаимно резервирующего источника питания для безаварийной остановки технологического процесса.

Электроприемники II категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей. Электроприемники II категории в нормальном режиме должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых, взаимно резервирующих источников питания. Перерыв электроснабжения электроприемников II категории допускается на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала.

Электроприемники III – все остальные электроприемники, не подпадающие под определения I и II категорий. Для электроприемников III категории электроснабжение может выполняться от одного источника питания при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышают 1 сутки.

Источник питания считается одним источником, если питается по одной двухцепной линии, и двумя источниками, если питается по двум одноцепным линиям или по двум кабельным линиям, проложенным по разным трассам [2].

Независимые источники питания – источники, схема и конструктивное исполнение которых и питающих их электрических сетей таковы, что при отказе одного из них снижение качества электроэнергии на другом не превышает установленных пределов в любой момент времени, включая время аварийного режима.

По исполнению защит от воздействия окружающей среды

Все электрооборудование классифицируется:

- по климатическому исполнению и категории размещения;
- по степени защиты от попадания влаги и твердых тел;
- по степени защиты при работе в пожароопасных зонах;
- по степени защиты при работе во взрывоопасных зонах.

Тема 2.3. Характеристика приемников электрической энергии

Все электроприемники имеют ряд характерных показателей:

- номинальное напряжение;
- установленная мощность;
- номинальная активная мощность;
- номинальная реактивная мощность;
- номинальная полная мощность;
- номинальный ток;
- номинальный коэффициент мощности.

Условились, что все показатели, характеризующие индивидуальный приемник электроэнергии, обозначать строчными буквами (p , q , s , i).

Режимы работы ЭП разнообразны и изменяются во времени. Для характеристики пользуются следующими понятиями.

Номинальное напряжение ($U_{ном}$) — напряжение элемента электрической сети, при котором обеспечивается длительный режим его работы с наиболее оптимальными технико-экономическими показателями.

Установленная мощность индивидуального электроприемника ($p_{уст}$) – его мощность указанная на табличке завода изготовителя или в паспорте ЭП ($p_{пас}$). При указанной мощности ЭП должен работать при номинальной нагрузке и номинальном напряжении длительное время в установившемся режиме без превышения допустимой температуры. Будем считать установленным любой ЭП, подключенный к электрической сети (работающий или не работающий), но который можно включить в любое время по требованию технологии.

Номинальная активная мощность ЭП (P_H) – это мощность, потребляемая из сети при номинальной нагрузке ЭП, при которой он должен работать длительное время в установившемся режиме без превышения допустимой температуры.

Для длительного режима работы ЭП номинальная мощность равна паспортной величине ($P_{пас}$)

$$P_H = P_{пас} \cdot \quad (2.2)$$

Для приемников работающих в повторно-кратковременном режиме номинальную мощность определяют по паспортной мощности путем приведения ее к длительному режиму работы ($PВ=1$) в соответствии с формулами:

$$P_H = P_{пас} \sqrt{PВ}, \text{ или } P_H = P_{пас} \sqrt{k_B}, \quad (2.3)$$

где $PВ_{пас}$ – паспортная величина, о.е.; k_B - коэффициент включения рассчитывается по графику нагрузки ЭП, см. формулу (2.1).

Для электродвигателей мощность, потребляемая из сети, называется присоединенной мощностью ($P_{пр}$) и определяется по выражению

$$P_{пр} = \frac{P_H}{\eta}, \quad (2.4)$$

где P_H - номинальная мощность, развиваемая на валу двигателя, кВт;

η - номинальный КПД электродвигателя, о.е.

Номинальная реактивная мощность ЭП (Q_H) – реактивная мощность, потребляемая им из сети при номинальной активной мощности и номинальном напряжении.

Для ЭП, работающего в длительном режиме, величина Q_H вычисляется по формуле

$$Q_H = P_H \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.5)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ - соответствует номинальному $\cos \varphi_H$ ЭП ($\cos \varphi_H$ - паспортная величина).

Для ЭП, работающего в повторно-кратковременном режиме, величина Q_H вычисляется по формуле

$$Q_H = P_{пас} \sqrt{PВ_{пас}} \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.6)$$

Номинальная полная мощность ЭП (S_H)

$$S_H = \sqrt{P_H^2 + Q_H^2}. \quad (2.7)$$

Номинальный ток ЭП (i_H)

$$i_H = \frac{S_H}{\sqrt{3}U_H}. \quad (2.8)$$

Номинальный коэффициент активной мощности ($\cos \varphi_H$)

$$\cos \varphi = \frac{P_H}{S_H}. \quad (2.9)$$

Раздел 3. Графики электрических нагрузок

Тема 3.1. Краткая характеристика графиков нагрузок

Графики электрических нагрузок одна из основных характеристик режимов работы приемников (потребителей) электрической энергии и являются исходным материалом для расчетов электрических сетей. Графики электрических нагрузок представляют собой характер изменения электрической величины во времени.

По электрическим показателям рассматриваются графики по активной, реактивной и полной мощности, графики по току. Если нагрузка создается одним ЭП, графики называют *индивидуальными* и все показатели, относящиеся к нему, обозначают строчными буквами $p(t)$, $q(t)$, $s(t)$, и $i(t)$. В случае, когда нагрузка характеризует группу электроприемников, её графики называют *групповыми* и все показатели, относящиеся к ней, обозначают прописными буквами $P(t)$, $Q(t)$, $S(t)$, $I(t)$. По рассматриваемому промежутку времени различают сменные, суточные, квартальные, сезонные, годовые графики. В справочной литературе приводятся графики электрических нагрузок по отраслям промышленности (машиностроение, химическая, нефтеперерабатывающая промышленности и др.), которыми можно пользоваться при проектировании СЭС заводов данной отрасли.

Режимы работы ЭП разнообразны и это, несомненно, окажет влияние на форму результирующего графика – графика группы электроприемников (потребителя). От режимов потребления электроэнергии зависят режимы работы электроустановок: основного оборудования, линий электропередачи и трансформаторных подстанций. Значение и структура потребления электрической энергии имеют вероятностный характер, поэтому расчетные (прогнозируемые) графики отличаются от реальных.

Построение графиков электрических нагрузок проектируемого объекта дает возможность выбрать все элементы СЭС с их оптимальными параметрами, а также выполнить наиболее рациональную схему электроснабжения, обеспечивающую необходимые уровни напряжения, и определить потребление активной и реактивной энергии.

Индивидуальные графики необходимы для определения нагрузок отдельных электроприемников (электрических печей, преобразовательных агрегатов, главных приводов прокатных станов и т.п.). При проектировании СЭС промышленных предприятий чаще используются групповые графики нагрузок.

Групповые графики нагрузок (узла нагрузки или предприятия в целом) дают возможность определить потребление активной и реактивной энергии (узла нагрузки), правильно выбрать элементы питающих сетей, а также спроектировать рациональную схему СЭС.

В практике проектирования наибольшее применение находят суточные и годовые графики. Форма графиков очень разнообразна и, в основном, зависит от технологического процесса производства и режима работы предприятия (односменный, двухсменный или трехсменный).

На рисунке 4.1 представлены экспериментальные зависимости изменения активной мощности за рассматриваемый промежуток времени (t) для индивидуальных ЭП и их суммарный (групповой) график.

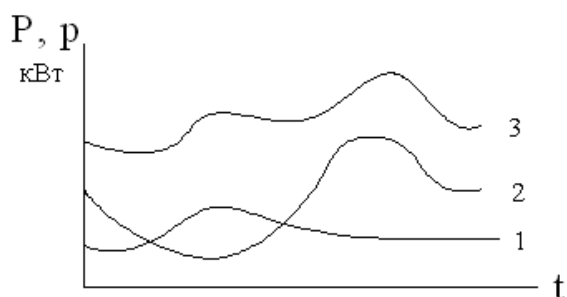


Рисунок 3.1 Индивидуальные и групповой графики нагрузок активной мощности

- 1 – график индивидуального ЭП $p_1(t)$; 2 – то же $p_2(t)$;
 3 – групповой график нагрузок $P(t) = p_1(t) + p_2(t)$

При практических расчетах функцию $P(t)$, полученную путем снятия показаний измерительных приборов, преобразуют в ступенчатый график, принимая, что за принятый интервал осреднения Δt нагрузка остается неизменной и равной ее среднему значению за указанный интервал. Интервал осреднения принимается равным 30 мин. Для учебных расчетов интервал осреднения принимается равным или 1 час.

Тема 3.2. Графики нагрузок индивидуальных приемников

На рисунке 3.2 представлены графики активной мощности индивидуальных электроприемников, работающих в различных режимах. Как видно из рисунка режимы работы разнообразны и, как правило, зависят от технологического процесса. Графики нагрузок ЭП по активной, реактивной, полной мощности и графики по току рассматриваются за определенный промежуток времени (за характерный час, смену, сутки).

Условно (теоретически) графики нагрузок можно разделить на: периодические; циклические; нециклические и нерегулярные (случайные).

- Периодический (рис.3.2 а), когда $t_{\text{Ц}} = \text{const}$, $t_{\text{р}} = t_{\text{п}}$ и $w = \text{const}$.

Время цикла $t_{\text{Ц}} = t_{\text{р}} + t_{\text{п}}$; $t_{\text{р}}$, $t_{\text{п}}$ - время соответственно работы ЭП и паузы, ч., смена, сутки; w – электроэнергия потребляемая ЭП за время цикла одинакова, т.е.

$$w_1 = w_2.$$

- Циклический (рис.3.2 б), когда $t_{\text{Ц}} \neq \text{const}$, $t_{\text{р}} = \text{const}$ и $w = \text{const}$.

Время паузы $t_{\text{п1}} \neq t_{\text{п2}} \neq \dots t_{\text{пi}}$, а длительность работы ЭП одинакова от цикла к циклу, поэтому за промежуток времени, например смену, количество потребленной электроэнергии одинаково.

- Нециклический (рис.3.2 в), при $t_{\text{Ц}} \neq \text{const}$, т.к. $t_{\text{р1}} \neq t_{\text{р2}} \neq \dots t_{\text{рi}}$, $t_{\text{п1}} \neq t_{\text{п2}} \neq \dots t_{\text{пi}}$, но количество электроэнергии, потребляемой ЭП за рассматриваемый промежуток времени, практически постоянно, т.е. можно принять $w_{\text{сМ}} \approx \text{const}$

- Нерегулярный (рис.3.2 г), если $t_{\text{р}} \neq t_{\text{п}}$, $t_{\text{р1}} \neq t_{\text{р2}} \neq \dots t_{\text{рi}}$, $t_{\text{п1}} \neq t_{\text{п2}} \neq \dots t_{\text{пi}}$, и $w_1 \neq w_2 \neq \dots$

На практике режимы работы ЭП носят случайный характер, за исключением, автоматических технологических линий.

Индивидуальные графики необходимы для определения расчетных величин и коэффициентов, характеризующих эти графики.

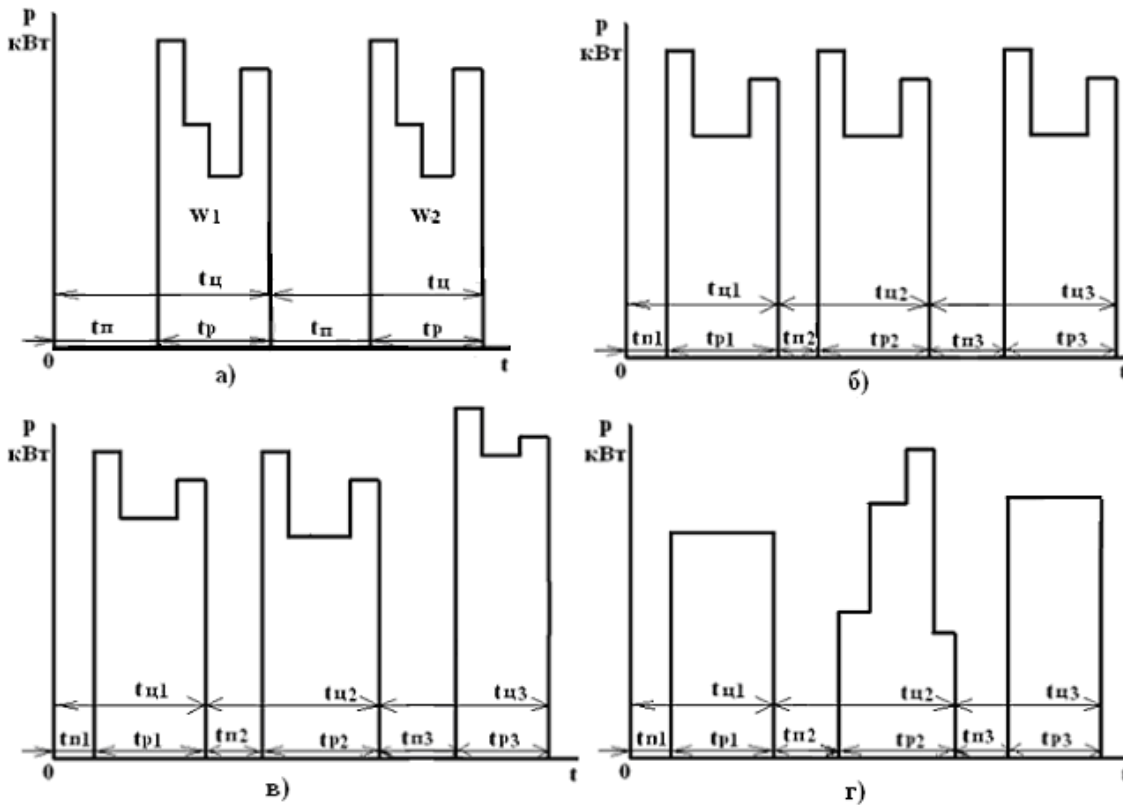


Рисунок 3.2 Индивидуальные графики электрических нагрузок

Тема 3.3. Групповые графики электрических нагрузок

При проектировании СЭС применяются в основном групповые графики электрических нагрузок. Графики нагрузок группы ЭП по активной, реактивной, полной мощности и графики по току рассматриваются за определенный промежуток времени (за характерный час, смену, сутки). В практике проектирования наибольшее применение, при расчете электрических нагрузок СЭС, получили графики изменения нагрузок за наиболее загруженную смену, характерные сутки и годовые графики. По характерным суточным графикам нагрузок можно судить о режиме работы электроустановок и, как следствие, о режиме работы всего предприятия (односменный, двухсменный и трехсменный режимы работы). Важным графиком является годовой - годовая упорядоченная диаграмма нагрузок. Существуют и такие графики как квартальные, сезонные (за зимний и летний периоды). На рисунке 3.3 представлен суточный график активной мощности характерный для двухсменного режима работы.

Графики нагрузок по отдельным группам ЭП (узлам нагрузки) и объекта в целом дают возможность определить потребление активной и реактивной энергии предприятием, правильно и рационально выбрать элементы системы электроснабжения, а также рационально спроектировать СЭС.

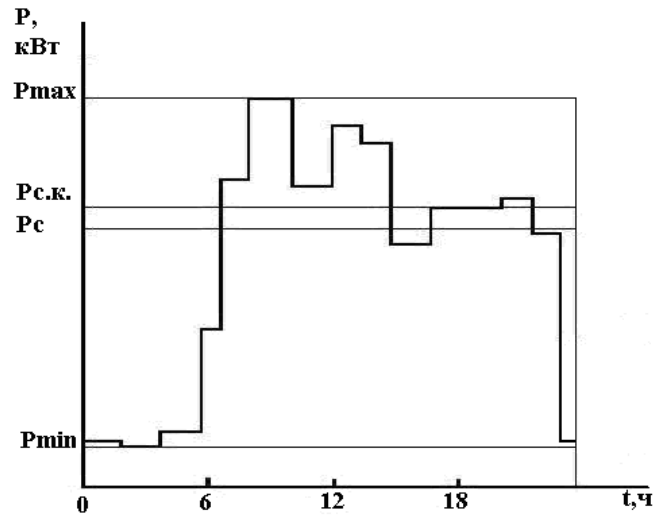


Рисунок 3.3 Суточный график активной мощности

P_{\max} – максимальная мощность; P_{\min} – минимальная мощность;
 P_c – средняя мощность; $P_{c.к.}$ – средняя квадратичная мощность.

Тема 3.4. Годовые графики нагрузок

Годовой график активной мощности по убыванию максимумов представляет собой годовую упорядоченную диаграмму нагрузок. Приблизительно годовой график по продолжительности можно построить по двум характерным суточным графикам нагрузок электроустановки или предприятия в целом (за зимние и летние сутки), как показано на рис.3.4. Строятся графики активной мощности за характерные сутки - зимние, летние и выходные дни.

При этом условно принимают, что продолжительность зимнего периода 213 суток (7 мес.), а летнего—152 суток (5 мес.) – для сибирского региона. Построение начинают с максимальной мощности и выполняют в порядке постепенного снижения мощностей, для чего через оба суточных графика проводят ряд горизонтальных линий, расстояние между которыми выбирают в соответствии с желательной точностью построения.

В виде примера покажем построение годового графика по продолжительности. Продолжительность потребления максимальной мощности P_1 по зимнему графику $t_{з.1}$ по летнему нет. Годовая продолжительность $T_1 = (t_{з.1}) \cdot 213$. Откладывая полученное значение T_1 по оси абсцисс годового графика, находим точку «а». Продолжительность мощности P_2 : по зимнему графику $t_{з.1}$ по летнему $t_{л.2}$. Годовая продолжительность $T_2 = (t_{з.1}) \cdot 213 + t_{л.2} \cdot 152$. На годовом графике это соответствует точке «б».

Аналогичным образом строятся третья и все последующие ступени годового графика в порядке снижения мощностей. Суммарная продолжительность годового графика должна составлять 8760 часов.

Выполнив все построения, получают годовой график по убыванию, смотри рис. 3.4. При необходимости более точного построения годового графика пользуются большим числом суточных графиков, например за зимние, летние, весенние и осенние сутки. В последнем случае условно принимают длительность зимнего, летнего и весеннего периодов по 91 суток, а осеннего - 92 суток.

По годовому графику определяют потребленную электроэнергию электроустановкой, подразделением или предприятием в целом за год и число часов использования максимальных нагрузок потребителем в течение года.

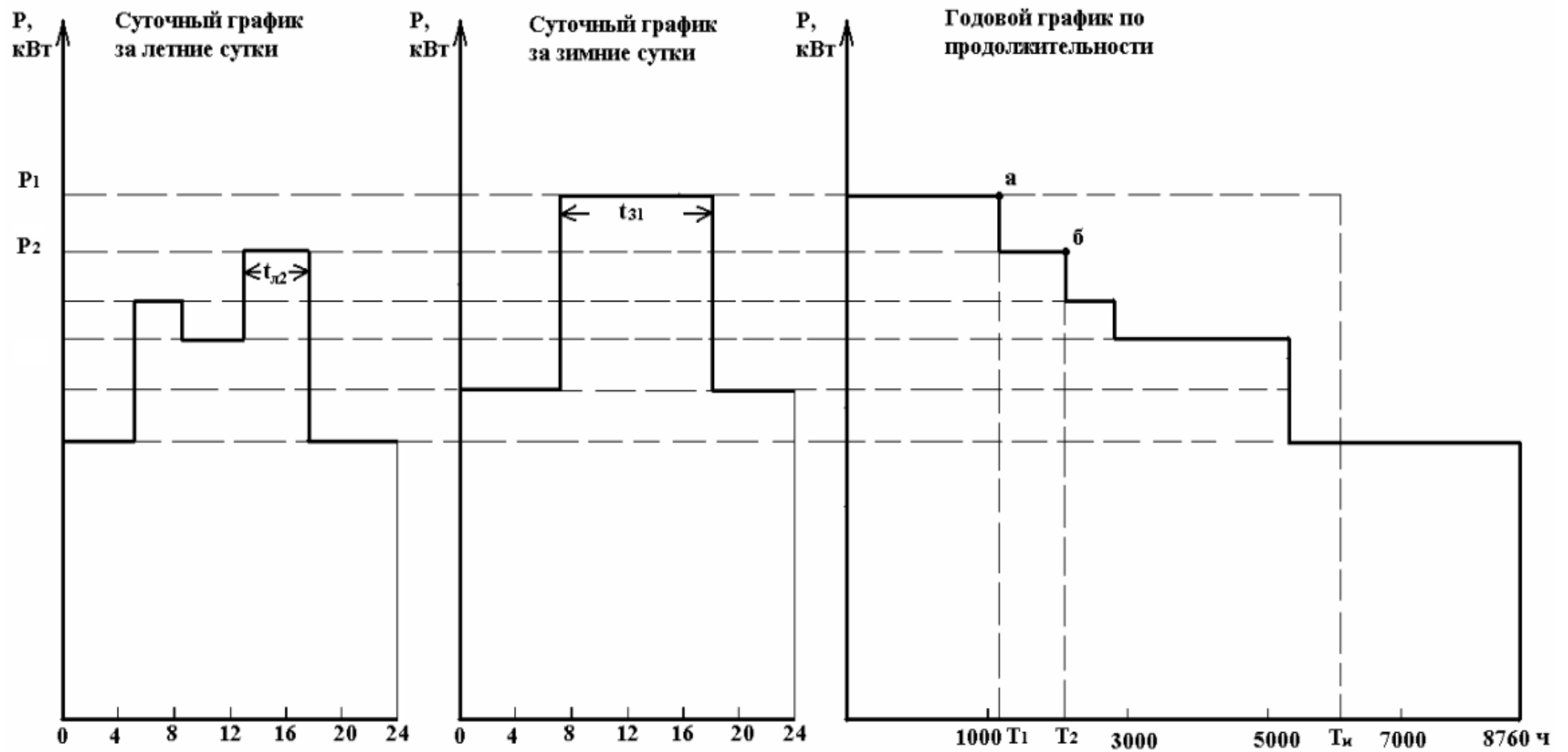


Рисунок 3.4 Построение годового графика по продолжительности

Тема 3.5. Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок

При проектировании и эксплуатации СЭС для характеристики режимов работы электроприемников и графиков их нагрузок часто используют не сами графики нагрузок, а их расчетные величины и коэффициенты, характеризующие эти графики нагрузок. Как было сказано ранее, все показатели, характеризующие индивидуальный приемник электроэнергии, обозначать строчными буквами (p, q, s, i), а показатели группы ЭП (потребителей) – прописными (P, Q, S, I). Коэффициенты, характеризующие графики, дополнительно обозначаются индексами: коэффициенты графиков активной мощности индексом «а», реактивной мощности – индексом «q», графиков по току – индексом «i». При расчетах нагрузок, как правило, пользуются графиками активной мощности. Остальные показатели нагрузок определяются по активной мощности с учетом поправочных коэффициентов.

Коэффициент включения

Коэффициент включения характерен для графика нагрузки отдельного ЭП, работающего в повторно-кратковременном режиме, и зависит от характера технологического процесса.

Коэффициент включения по графику активной мощности ($k_{в.а}$) – есть отношение времени работы ЭП (t_p) к времени цикла ($t_{ц}$)

$$k_{в.а} = \frac{t_p}{t_{ц}}, \quad (3.1)$$

где t_p – время работы ЭП, мин., ч.; $t_{ц} = t_p + t_{п}$ время цикла, мин., ч.; $t_{п}$ – время паузы, мин., ч.

Так как $t_p < t_{ц}$, то $k_{в.а} \leq 1$. Время работы, паузы и цикла определяются по графику нагрузки ЭП. Для ЭП, работающих в длительном режиме с равномерным графиком нагрузки, $k_{в.а} = 1$. На практике, коэффициент включения задается как паспортная величина, характеризующаяся продолжительностью включения ЭП ($ПВ_{пас}$), %.

Коэффициент включения может быть определен по графикам как активной, реактивной мощности так и по току.

Коэффициент использования

Коэффициент использования активной мощности индивидуального ЭП ($k_{и.а}$) или группы ЭП ($K_{и.а}$) есть отношение среднего значения потребленной активной мощности индивидуальным ЭП (p_c) или группой ЭП (P_c) за наиболее загруженную смену к его (их) номинальной активной мощности (p_n или P_n).

Для отдельного ЭП

$$k_{и.а} = \frac{P_c}{P_n}, \quad (3.2)$$

где p_c – среднего значения потребленной активной мощности ЭП за наиболее загруженную смену, кВт; p_n – номинальная активная мощность ЭП, кВт.

Так как $p_c < p_n$, то $k_{и.а} \leq 1$. Для ЭП, работающего в длительном режиме с равномерным графиком загрузки, $k_{и.а} = 1$.

Для группы ЭП, работающих в одинаковом режиме

$$K_{и.а} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ci}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}} = \frac{P_c}{P_H}, \quad (3.3)$$

где P_c - среднего значения потребленной активной группой ЭП за наиболее загруженную смену, кВт; P_H - номинальная активная мощность группы ЭП, кВт.

Для группы ЭП, работающих в различных режимах, средневзвешенный коэффициент использования для данной группы рассчитывается по формуле:

$$K_{и.а} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{и.а.i} P_{H.i}}{\sum_{i=1}^n P_{H.i}}, \quad (3.4)$$

где n – число ЭП в данной группе.

Так как $P_c < P_H$, то $K_u \leq 1$. Для ЭП, работающих в длительном режиме с равномерным графиком загрузки, $K_u = 1$. Соотношения коэффициентов $k_{и} = k_3 \cdot k_b$

При наличии индивидуальных и групповых графиков по реактивной мощности и по току коэффициенты использования по реактивной мощности и по току этих графиков определяются аналогично по формулам (3.2; 3.3; 3.4), подставляя значения соответственно реактивной мощности или тока.

Коэффициент загрузки

Коэффициент загрузки по активной мощности отдельного ЭП ($k_{з.а}$) или группы ЭП ($K_{з.а}$) - есть отношение его (их) средней нагрузки за время включения в течении рассматриваемого промежутка времени ($p_{с.в}$ или $P_{с.в}$) к его (их) номинальной мощности (p_H или P_H).

Для отдельного ЭП

$$k_{з.а} = \frac{p_{с.в}}{p_H}, \quad (3.5)$$

где $p_{с.в}$ - средняя нагрузка за время включения ЭП, кВт; p_H - номинальная активная мощность ЭП, кВт.

Так как $p_{с.в} \leq p_H$, то $k_{з.а} \leq 1$. Коэффициент загрузки так же, как и k_b , зависит от характера технологического процесса и изменяется с изменением режима работы ЭП. Когда нагрузка ЭП равномерна и постоянна $k_{з.а} = 1$.

Для группы электроприемников

$$K_{з.а} = \frac{P_{с.в.}}{P_H} \quad \text{или} \quad K_{з.а} = \frac{\sum k_{з.а} P_H}{\sum P_H}, \quad (3.6)$$

где $P_{с.в}$ - средняя нагрузка за время включения группы ЭП, кВт; P_H - номинальная активная мощность этой группы ЭП, кВт.

Соотношение коэффициентов $k_3 = k_{и} / k_b$

При наличии графиков по реактивной мощности и по току, коэффициенты загрузки этих графиков определяются аналогично по формулам (3.5; 3.6), подставляя значения соответственно реактивной мощности или тока.

Коэффициент формы графика

Коэффициент формы графика характеризует неравномерность графика нагрузки и определяется как отношение среднеквадратичной мощности приемника или группы ЭП за определенный промежуток времени к среднему значению нагрузки за тот же период времени.

Коэффициент формы графика по активной мощности

$$k_{ф.а} = \frac{P_{с.к.}}{P_c}, \quad (3.7)$$

где $P_{с.к.}$ - среднеквадратичная мощность, определяемая по графику нагрузки за рассматриваемый период времени, кВт; Так как $P_{с.к.} \geq P_c$, то $k_{ф.а} \geq 1$.

Для группы электроприемников

$$K_{ф.а} = \frac{P_{с.к.}}{P_c}, \quad (3.8)$$

где $P_{с.к.}$ и P_c – среднеквадратичная и средняя мощности соответственно, кВт.

При наличии графиков по реактивной мощности и по току, коэффициенты формы этих графиков определяются аналогично по формулам (3.7; 3.8), подставляя значения соответственно реактивной мощности или тока.

Коэффициент спроса

Коэффициент спроса применяется только для групповых графиков и при числе ЭП в группе $n \geq 5$. Коэффициент спроса – это отношение потребляемой (в условиях эксплуатации) или расчетной (при проектировании) мощности к номинальной мощности группы ЭП

$$K_c = \frac{P_{п}}{P_{н}}, \quad (3.9)$$

где $P_{п}$ – потребляемая мощность из сети группой ЭП, кВт. Так как $P_{п} \leq P_{н}$, то $K_c \leq 1$.

Значение K_c для определенных технологических процессов и отраслей промышленности является практически постоянным. При $n \rightarrow \infty$ $K_c \rightarrow K_{ц}$, поэтому K_c можно использовать только при большом значении ($n > 50$).

Соотношения коэффициентов $K_c = K_{ц} \cdot K_{м} = K_{в} \cdot K_{з} \cdot K_{м}$.

Коэффициент максимума

Коэффициент максимума характерен для группового графика нагрузок.

Коэффициент максимума ($K_{м}$) по активной мощности есть отношение максимальной нагрузки за определенный промежуток времени к средней за тот же промежуток времени.

$$K_{м} = \frac{P_{max}}{P_c} \quad (3.10)$$

где P_{max} – максимальное значение мощности (30-минутный максимум), кВт.

Коэффициент одновременности максимумов нагрузки

Коэффициент одновременности максимумов нагрузки ($K_{о}$) – это отношение расчетной мощности на шинах 6; 10 кВ к сумме расчетных мощностей потребителей до и выше 1 кВ, подключенных к этим шинам 6; 10 кВ РП или ПГВ.

Для узла СЭС, к которому подключена группа ЭП можно записать

$$K_o = \frac{P_{p\Sigma}}{\sum P_p}, \quad (3.11)$$

где $P_{p\Sigma}$ – расчетное значение активной мощности всех ЭП, подключенных к шинам 6; 10 кВ, кВт; $\sum P_p$ – сумма расчетных активных мощностей групп ЭП до и выше 1 кВ, подключенных к шинам 6; 10 кВ.

Как правило, $P_{p\Sigma}$ меньше, чем сумма расчетных нагрузок ($\sum P_p$) групп ЭП, присоединенных к узлу, поэтому $K_o \leq 1$. Для распределительных сетей одного уровня напряжения принимают $K_o = 0,85 - 0,95$.

Время использования максимальных нагрузок

Время использования максимальных нагрузок определяется по годовому графику по продолжительности за рассматриваемый промежуток времени.

Годовое число часов использования максимума активной нагрузки это отношение годового расхода активной электроэнергии к получасовой максимальной мощности

$$T_{и} = \frac{W_{г}}{P_{max}}, \quad (3.12)$$

где $T_{и}$ - годовое число часов использования максимальной активной нагрузки, ч.; $W_{г}$ - годовой расход активной электроэнергии, кВт·ч; P_{max} - получасовая максимальная мощность, кВт.

По времени использования максимальных нагрузок определяется согласно [1] экономическая плотность тока при выборе проводников.

Для удобства инженерных расчётов электрических нагрузок коэффициенты, характеризующие графики нагрузок индивидуальных ЭП, аналитические выражения для их определения и соотношения между этими коэффициентами приведены в таблице 3.1, а коэффициенты, характеризующие графики нагрузок группы ЭП в таблице 3.2. В этих таблицах все коэффициенты записаны применительно к активной мощности. Определение коэффициентов по реактивной мощности и току производится аналогично приведённым формулам.

Таблица 3.1

Коэффициенты, используемые при расчёте нагрузок индивидуальных ЭП

Коэффициент	Обозначение	Для одиночного ЭП
Включения	$k_{в}$	$k_{в} = t_p / t_{ц}$
Использования	$k_{и.а}$	$k_{и.а} = p_c / p_n$
Загрузки	$k_{з.а}$	$k_{з.а} = p_{с.в} / p_n$
Формы графика	$k_{ф}$	$k_{ф} = p_{с.к.} / p_c$

Коэффициенты, используемые при расчёте электрических нагрузок

Коэффициент	Обозначение	Для группы ЭП
Использования	$K_{и}$	$K_{и} = P_{с} / P_{н} = \sum_{i=1}^n k_{иi} P_{н.i} / \sum_{i=1}^n P_{н.i}$
Загрузки	$K_{з}$	$K_{з} = P_{с.в} / P_{н} = \sum_{i=1}^n k_{з.i} P_{н.i} / \sum_{i=1}^n P_{н.i}$
Формы графика	$K_{ф}$	$K_{ф} = P_{с.к.} / P_{с}$
Спроса	$K_{с}$	$K_{с} = P_{р} / P_{н}$
Одновременности	$K_{о}$	$K_{о} = P_{р\Sigma} / \sum P_{р}$
Время использования максимальных нагрузок	$T_{и}$	$T_{и} = \frac{W_{г}}{P_{max}}$

Раздел 4. Основные характеристики электрических нагрузок

Электрические нагрузки характеризуют потребление электроэнергии отдельным ЭП или группой ЭП (цехом, производством или предприятием в целом). Электрические нагрузки могут быть представлены в виде мощностей активной (P), реактивной (Q), полной (S) или тока (I). Режимы работы электроприемников разнообразны и изменяются во времени, поэтому полную характеристику электрических нагрузок дают зависимости изменения электрических параметров во времени, которые и называют графиками нагрузок.

Для полной характеристики электрических нагрузок рассматриваются следующие показатели:

- установленная мощность;
- номинальные нагрузки;
- средние значения нагрузок;
- среднеквадратичные значения нагрузок;
- максимальные значения нагрузок;
- расчетные значения нагрузок;
- потребление электроэнергии.

Тема 4.1. Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники

Все показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные приемники электроэнергии и их графики, условились обозначать строчными буквами (p , q , s , i). Для характеристики электрических нагрузок пользуются следующими определениями.

Установленная мощность

Установленная мощность индивидуального электроприемника ($p_{уст}$) – его номинальная мощность указанная в паспорте ЭП ($p_{пас}$). При указанной мощности ЭП должен работать при номинальной нагрузке и номинальном напряжении длительное время в установившемся режиме без превышения допустимой температуры. Будем считать установленным любой ЭП,

подключенный к электрической сети (работающий или не работающий), но который может быть включен в любое время по требованию технологии.

Номинальные нагрузки

Номинальные нагрузки для индивидуальных ЭП характеризуются номинальной активной (p_n), реактивной (q_n), полной (s_n) мощностями и номинальным током (i_n).

Номинальные нагрузки для индивидуальных ЭП зависят от режима их работы.

Для индивидуальных трехфазных ЭП с симметричной нагрузкой номинальные нагрузки определяются:

- номинальная активная мощность для электроприемника, работающего в длительном режиме

$$P_H = P_{пас} , \quad (4.1)$$

где P_H и $P_{пас}$ - номинальная и паспортная величина активные мощности ЭП, кВт;

- номинальная активная мощность для электроприемника, работающего в повторно-кратковременном режиме

$$P_H = p_{пас} \sqrt{ПВ/100} = p_{пас} \sqrt{k_B} , \quad (4.2)$$

где $ПВ$ – продолжительность включения, % (паспортная величина); k_B – коэффициент включения (рассчитывается по графику нагрузки ЭП), о.е. (подробнее см. подраздел 3.5);

- номинальная реактивная мощность для электроприемника, работающего в длительном режиме

$$Q_H = Q_{пас} , \quad \text{или} \quad Q_H = P_H \operatorname{tg} \varphi , \quad (4.3)$$

где Q_H и $Q_{пас}$ - номинальное и паспортное значение реактивной мощности ЭП, кВт·Ар;

$\operatorname{tg} \varphi$ - соответствует номинальному $\cos \varphi_H$ ЭП ($\cos \varphi_H$ - паспортная величина);

- номинальная реактивная мощность для электроприемника, работающего в повторно-кратковременном режиме

$$q_H = p_{пас} \sqrt{ПВ/100} \cdot \operatorname{tg} \varphi ; \quad (4.4)$$

- номинальная полная мощность

$$S_H = \sqrt{P_H^2 + Q_H^2} , \quad (4.5)$$

где S_H - номинальная полная мощность электроприемника, кВт·А;

- номинальный ток нагрузки электроприемника

$$i_H = \frac{S_H}{\sqrt{3}U_H} , \quad (4.6)$$

где i_H - номинальное значение тока нагрузки электроприемника, А; U_H – номинальное напряжение электроприемника, кВ.

Остальные показатели электрических нагрузок индивидуальных ЭП определяются по графикам нагрузок или по коэффициентам, характеризующим эти графики.

Средние значения нагрузок

Среднее значение изменяющейся во времени нагрузки является ее основной статистической характеристикой. Среднее значение нагрузки рассматривается за определенный период времени (цикл, смена, сутки, месяц, год) и определяется по графику нагрузок электроприемника:

- среднее значение активной мощности электроприемника

$$P_c = \frac{W}{t} \text{ или } P_c = \frac{\sum p_i \cdot t_i}{\sum t_i} \text{ или } P_c = k_{И} \cdot P_H, \quad (4.7)$$

где P_c – среднее значение активной мощности отдельного ЭП, кВт; W – количество активной энергии, потребляемой электроприемником за рассматриваемый период времени t , кВт·ч; t – время, мин., ч. сутки; p_i – активная мощность, потребляемая ЭП, за рассматриваемый промежуток времени t_i (мин., ч., сутки), по характерному графику нагрузки ЭП, кВт. $k_{И}$ – коэффициент использования, рассчитывается по графику нагрузки электроприемника (или справочные данные);

- среднее значение реактивной мощности для отдельного ЭП

$$Q_c = \frac{V}{t} \text{ или } Q_c = P_c \operatorname{tg} \varphi \quad (4.8)$$

где Q_c – среднее значение реактивной мощности ЭП, кВ·Ар; V – количество реактивной энергии, потребляемой электроприемником за рассматриваемый период времени t , кВ·Ар·ч (при наличии графика нагрузки по реактивной мощности); $\operatorname{tg} \varphi$ – соответствует номинальному $\cos \varphi_H$ ЭП ($\cos \varphi_H$ – паспортная величина);

- среднее значение полной мощности для отдельного ЭП

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}, \quad (4.9)$$

где S_c – среднее значение полной мощности электроприемника, кВ·А;

- среднее значение тока индивидуального электроприемника

$$i_c = \frac{S_c}{\sqrt{3}U_H}, \quad (4.10)$$

где i_c – среднее значение тока ЭП, А; U_H – номинальное напряжение ЭП, кВ;

Среднеквадратичные значения нагрузок

В связи с тем, что потери мощности пропорциональны квадрату нагрузки, при проектировании часто используют среднеквадратичную (эффективную) нагрузку за определенный промежуток времени. Среднеквадратичные значения нагрузок определяют по характерному графику нагрузки ЭП.

Среднеквадратичное значение активной мощности отдельного ЭП за рассматриваемый промежуток времени

$$P_{с.к.} = \sqrt{\frac{\sum p_i^2 t_i}{\sum t_i}}, \quad (4.11)$$

где $P_{с.к.}$ – среднеквадратичное значение активной мощности электроприемника, кВт; p_i – активная мощность, потребляемая ЭП за рассматриваемый промежуток времени t_i (определяется из графика нагрузки по активной мощности), кВт; t_i – интервал времени за который определяется p_i , мин., ч.

При наличии графиков потребления реактивной мощности, среднеквадратичное значение реактивной мощности определяется аналогично.

Среднеквадратичное значение реактивной мощности ЭП за рассматриваемый промежуток времени

$$Q_{с.к.} = \sqrt{\frac{\sum q_i^2 t_i}{\sum t_i}}, \quad (4.12)$$

где $Q_{с.к.}$ - среднеквадратичное значение реактивной мощности электроприемника, кВ·Ар;
 q_i - активная мощность, потребляемая ЭП за рассматриваемый промежуток времени (определяется из графика нагрузки по реактивной мощности), кВ·Ар; t_i - интервал времени за который определяется q_i , мин., ч.

При отсутствии графиков потребления реактивной мощности, среднеквадратичное значение реактивной мощности определяется

$$Q_{с.к.} = P_{с.к.} \operatorname{tg} \varphi, \quad (4.13)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ - соответствует номинальному $\cos \varphi_n$ ЭП ($\cos \varphi_n$ - паспортная величина);

По известным среднеквадратичным значениям активной и реактивной мощностей определяются среднеквадратичные значения полной мощности и тока.

Среднеквадратичное значение полной мощности ЭП за рассматриваемый промежуток времени

$$S_{с.к.} = \sqrt{P_{с.к.}^2 + Q_{с.к.}^2}, \quad (4.14)$$

где $S_{с.к.}$ - среднеквадратичное значение полной мощности ЭП, кВ·А.

Среднеквадратичное значение тока ЭП за рассматриваемый промежуток времени

$$i_{с.к.} = \frac{S_{с.к.}}{\sqrt{3} U_n}, \quad (4.15)$$

где $i_{с.к.}$ - среднеквадратичное значение тока ЭП, А; U_n - номинальное напряжение ЭП, кВ.

Максимальные нагрузки

В зависимости от продолжительности различают два вида максимальных электрических нагрузок:

- максимальные длительные нагрузки;
- максимальные кратковременные нагрузки.

За максимальные длительные нагрузки принимаются максимальные значения активной, реактивной, полной мощности и тока продолжительностью за принятый интервал осреднения по допустимому нагреву элементов СЭС равным 30 минутам.

Максимальная нагрузка за 30 минут в проектной практике принимается за расчетную нагрузку по допустимому нагреву. При учебном проектировании интервал осреднения принимается продолжительностью равным 60 минутам.

Все значения максимальных нагрузок определяются по графикам нагрузок за характерный промежуток времени (за наиболее загруженную смену, сутки).

За максимальные кратковременные нагрузки принимаются пиковые нагрузки продолжительностью 1-2 с. Определение пиковых нагрузок сводится к определению пиковых токов. Значения пиковых токов определяют, как правило, пусковые токи электрических машин. Значения максимальных кратковременных нагрузок определяют по соответствующим графикам нагрузок или расчетным путем при известных параметрах электрических машин.

Расчётные электрические нагрузки

Под расчётными электрическими нагрузками понимаются нагрузки значения, которых соответствуют такой неизменной токовой нагрузке, которая эквивалентна фактической изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему тепловому воздействию на элемент системы электроснабжения.

К расчётным электрическим нагрузкам относятся расчётные значения активной мощности (p_p), реактивной мощности (q_p), полной мощности (s_p) и тока (i_p).

Вероятность превышения фактической нагрузки над расчётной не превышает 0,05 в интервале осреднения, длительность которого принята равной трём постоянным времени нагрева $3T_0$ элемента системы электроснабжения, через который передаётся ток нагрузки (кабель, провод, шинопровод, трансформатор и т.д.).

Определение значений расчётных электрических нагрузок подробно изложено в разделе 5.

Потребляемая электрическая энергия

Потребляемая электроприемником электрическая энергия за рассматриваемый промежуток времени, определяется по графику нагрузки этого электроприемника по активной мощности

$$W = \sum_{i=1}^m p_i t_i, \quad (4.16)$$

где W - электрическая энергия потребленная электроприемником за промежуток времени m , кВт·ч; p_i - значение активной мощности за интервал времени t_i , кВт; t_i - интервал времени за который определяется значение активной мощности, ч.

Тема 4.2. Показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников

Все показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников (потребителей) и их графики, условились обозначать прописными буквами P , Q , S , I . Для характеристики электрических нагрузок пользуются следующими определениями.

Установленная мощность

Установленная мощность узла нагрузки (группы электроприемников) на любом уровне СЭС равна сумме установленных (номинальных) мощностей однородных по режиму работы ЭП без каких-либо поправочных коэффициентов [2]. Будем считать установленным любой ЭП, подключенный к электрической сети (работающий или не работающий), но который можно включить в любое время по требованию технологии.

Номинальные нагрузки

Номинальные нагрузки для группы трехфазных электроприемников с симметричной нагрузкой можно принять:

- номинальная активная мощность

$$P_H = \sum_{i=1}^n p_{Hi}, \quad (4.17)$$

где P_H - номинальная активная мощность группы ЭП, кВт; p_{Hi} - номинальная активная мощность отдельного ЭП, входящего в группу, кВт; n - число ЭП в группе;

- номинальная реактивная мощность

$$Q_H = \sum_{i=1}^n q_{Hi} \quad \text{или} \quad P_H \operatorname{tg} \varphi_{\text{с.вз.}}, \quad (4.18)$$

где Q_H - номинальная реактивная мощность группы ЭП, кВ·Ар; q_{Hi} - номинальная реактивная мощность отдельного ЭП, входящего в группу, кВт; $\operatorname{tg} \varphi_{\text{с.вз.}}$ - средневзвешенное значение $\operatorname{tg} \varphi$ для группы ЭП (соответствует средневзвешенному значению $\cos \varphi_{\text{с.вз.}}$ группы ЭП или $\operatorname{tg} \varphi_{\text{с.вз.}} = Q_H / P_H$);

- номинальная полная мощность

$$S_H = \sqrt{P_H^2 + Q_H^2}, \quad (4.19)$$

где S_H - номинальная полная мощность группы ЭП, кВ·А;

- номинальный ток

$$I_H = \frac{S_H}{\sqrt{3}U_H}, \quad (4.20)$$

где I_H - значение номинального тока группы ЭП, А; U_H - номинальное напряжение узла нагрузки, кВ.

Средние нагрузки

Среднее значение изменяющейся во времени узла нагрузки является ее основной статистической характеристикой. Средние значения нагрузок рассматриваются за определенный период времени (цикл, смена, сутки, месяц, год) и определяется по групповому графику узла нагрузок:

- среднее значение активной мощности для группы электроприемников

$$P_c = \frac{W}{T} \quad \text{или} \quad P_c = \sum_{i=1}^n p_{ci} \quad \text{или} \quad P_c = \frac{\sum_{i=1}^m P_i t_i}{\sum_{i=1}^m t_i}, \quad (4.21)$$

где P_c - среднее значение активной мощности группы ЭП, за рассматриваемый промежуток времени (определяется из графика нагрузки по активной мощности), кВт; W - количество активной энергии, потребляемой группой ЭП за рассматриваемый период времени T , кВт·ч; P_i - активная мощность, потребляемая группой ЭП; t_i - интервал времени за который определяется P_i , мин., ч; T , m - рассматриваемый промежуток времени, ч; n - число ЭП в группе;

- среднее значение реактивной мощности для группы электроприемников

$$Q_c = \frac{V}{T} \quad \text{или} \quad Q_c = \sum_{i=1}^n q_{ci} \quad \text{или} \quad Q_c = P_c \operatorname{tg} \varphi_{\text{с.в.}}, \quad (4.22)$$

где Q_c - среднее значение реактивной мощности для группы ЭП, кВ·Ар; V - количество реактивной энергии, потребляемой электроприемниками за рассматриваемый период времени T , кВ·Ар·ч; T - время, ч; $\operatorname{tg} \varphi_{\text{с.в.}}$ - соответствует средневзвешенному значению $\cos \varphi_{\text{с.в.}}$ электроприемников входящих в группу;

- среднее значение полной мощности для группы электроприемников (кВ·А)

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}, \quad (4.23)$$

где S_c - среднее значение полной мощности группы ЭП, кВ·А;

- среднее значение тока для группы ЭП

$$I_c = \frac{S_c}{\sqrt{3}U_H}, \quad (4.24)$$

где I_c - среднее значение тока для группы ЭП, А; U_H – номинальное напряжение узла нагрузки, кВ.

Среднеквадратичные нагрузки

В связи с тем, что потери мощности пропорциональны квадрату нагрузки, в практике часто используют среднеквадратичную (эффективную) нагрузку за определенный промежуток времени. Как правило, среднеквадратичную нагрузку рассчитывают для узла нагрузки по групповому графику нагрузок.

- Среднеквадратичная активная мощность узла нагрузки

$$P_{с.к.} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 t_i}{\sum t_i}}, \quad (4.25)$$

где $P_{с.к.}$ - среднеквадратичная активная мощность, потребляемая группой ЭП за рассматриваемый промежуток времени (определяется из графика нагрузки по активной мощности), кВт; P_i - активная мощность, потребляемая группой ЭП за принятый интервал времени, кВт; t_i - интервал времени за который определяется P_i , мин., ч.

- Среднеквадратичная реактивная мощность узла нагрузки

$$Q_{с.к.} = \sqrt{\frac{\sum Q_i^2 t_i}{\sum t_i}} \quad \text{или} \quad Q_{с.к.} = P_{с.к.} \cdot \text{tg}\varphi_{с.в.}, \quad (4.26)$$

где $Q_{с.к.}$ - среднеквадратичная реактивная мощность, потребляемая группой ЭП за рассматриваемый промежуток времени, кВ·Ар; Q_i - реактивная мощность, потребляемая группой ЭП за принятый интервал времени, кВ·Ар; t_i - интервал времени за который определяется Q_i , мин., ч; $\text{tg}\varphi_{с.в.}$ - соответствует средневзвешенному значению $\text{COS}\varphi_{с.в.}$ электроприемников входящих в группу.

- Среднеквадратичная полная мощность узла нагрузки

$$S_{с.к.} = \sqrt{\frac{\sum S_i^2 t_i}{\sum t_i}}, \quad (4.27)$$

где $S_{с.к.}$ - среднеквадратичная полная мощность, потребляемая группой ЭП за рассматриваемый промежуток времени, кВ·А; S_i - полная мощность, потребляемая группой ЭП за принятый интервал времени, кВ·Ар; t_i - интервал времени за который определяется S_i , мин., ч.

- Среднеквадратичный ток узла нагрузки

$$I_{\text{с.к.}} = \sqrt{\frac{\sum I_i^2 t_i}{\sum t_i}}, \quad (4.28)$$

где $I_{\text{с.к.}}$ - среднеквадратичное значение тока, А.

Максимальные нагрузки

В зависимости от продолжительности различают два вида максимальных электрических нагрузок:

- максимальные длительные нагрузки;
- максимальные кратковременные нагрузки.

За максимальные длительные нагрузки принимаются максимальные значения активной, реактивной, полной мощности и тока продолжительностью за принятый интервал осреднения по допустимому нагреву элементов СЭС равным 30 минутам.

Максимальная нагрузка за 30 минут в проектной практике принимается за расчетную нагрузку по допустимому нагреву. При учебном проектировании интервал осреднения принимается продолжительностью равным 60 минутам.

Все значения максимальных нагрузок определяются по графикам нагрузок за характерный промежуток времени (за наиболее загруженную смену, сутки).

За максимальные кратковременные нагрузки принимаются пиковые нагрузки продолжительностью 1-2 с. Определение пиковых нагрузок сводится к определению пиковых токов. Значения пиковых токов определяют, как правило, пусковые токи электрических машин. Значения максимальных кратковременных нагрузок определяют по соответствующим графикам нагрузок или расчетным путем при известных параметрах электрических машин.

Расчётные электрические нагрузки

Одним из основных этапов при проектировании систем электроснабжения промышленного предприятия является правильное определение ожидаемых электрических нагрузок - их называют расчетными нагрузками. Расчетные нагрузки, как правило, определяются для зла питания (силовой пункт напряжением до 1 кВ; шины НН цеховых трансформаторных подстанций; шины НН силовых РП напряжением выше 1 кВ; шины НН главной понизительной подстанции).

Под расчётными электрическими нагрузками (P_p , Q_p , S_p , I_p) понимаются нагрузки значения которых соответствуют такой неизменной токовой нагрузке, которая эквивалентна фактической изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему тепловому воздействию на элемент системы электроснабжения.

Вероятность превышения фактической нагрузки над расчётной не превышает 0,05 в интервале осреднения, длительность которого принята равной трём постоянным времени нагрева $3T_0$ элемента системы электроснабжения, через который передаётся ток нагрузки (кабель, провод, шинопровод, трансформатор и т.д.)

При проектировании СЭС применяют два вида расчетных нагрузок:

- по допустимому нагреву элементов СЭС,
- по допустимым отклонениям напряжения на зажимах ЭП.

Под расчетной нагрузкой по допустимому нагреву понимается такая длительная неизменная нагрузка, которая эквивалентна фактической изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему тепловому воздействию на элемент системы электроснабжения.

Так как нагрев проводника является результатом воздействия на него нагрузки за некоторый промежуток времени, то средняя нагрузка $P_{\text{ср.м.}}$ за интервал времени T более точно характеризует нагрев проводника. Важной характеристикой нагрева проводника является постоянная времени нагрева T_0 . Учитывая, что нарастание температуры

проводника при постоянной нагрузке происходит по экспоненциальному закону и за время $3T_0$ достигает 95% установившейся температуры. В практике расчетов принят некоторый «универсальный» интервал осреднения $T_{оср}$.

Таким образом, в качестве расчетной нагрузки по допустимому нагреву при переменном графике применяют максимальную среднюю нагрузку $P_{ст}$ за время осреднения $T_{оср} = 3T_0$.

Таким образом, $P_p = P_{max}$ за $T_{оср} = 3T_0$.

При резкопеременных нагрузках (например, сварочные установки) за расчетную нагрузку может быть принята $P_{ск}$, т.е. $P_p = P_{ск}$.

При постоянном (мало меняющемся) графике нагрузки за расчетную нагрузку по допустимому нагреву может быть принята средняя нагрузка за наиболее загруженную смену, т.е. $P_p = P_{с.м.}$ или $P_p = P_c$.

Под расчетной нагрузкой по допустимым отклонениям напряжения понимается нагрузка, которая вызывает максимальное отклонение напряжения на зажимах ЭП. К таким нагрузкам относятся, как правило, пиковые нагрузки. При протекании пиковых нагрузок напряжение на зажимах ЭП должно быть не ниже допустимых значений.

Таким образом, величина пиковых нагрузок должна быть такими, чтобы соблюдалось условие

$$\Delta U_{пик} \leq \Delta U_{доп}, \quad (4.29)$$

где $\Delta U_{доп}$ – допустимое отклонение напряжения на зажимах ЭП.

Пиковые нагрузки определяются для проверки электросетей по условиям СЗП электродвигателей, выбора плавких вставок, предохранителей, расчета тока срабатывания МТЗ и т.д.

В практике проектирования СЭС применяют различные методы определения расчётных значений электрических нагрузок. Выбор метода расчёта нагрузок во многом зависит от наличия исходной информации.

Определение значений расчётных электрических нагрузок подробно изложено в главе 5.

Потребляемая электрическая энергия

Потребляемая группой электроприемников электрическая энергия за рассматриваемый промежуток времени, определяется по графику активной мощности узла нагрузки за рассматриваемый промежуток времени.

$$W = \sum_1^m P_i t_i, \quad (4.30)$$

где W - электрическая энергия потребленная группой электроприемников за рассматриваемый промежуток времени (m), кВт·ч; P_i - значение активной мощности за интервал времени (t_i), кВт; t_i - интервал времени за который определяется значение активной мощности, ч.

При проектировании потребление электрической энергии определяют, как правило, за год. Значение годового потребления электрической энергии $W_{Г}$ определяется из годового графика по продолжительности (упорядоченная диаграмма нагрузок).

Одним из важных показателей является время использования максимальных нагрузок в течение года и определяется по формуле

$$T_{и} = \frac{W_{Г}}{P_{max}}, \quad (4.31)$$

где $T_{и}$ - время использования максимальных нагрузок в течение года, ч;

$W_{Г}$ - электрическая энергия потребленная потребителем за год, кВт·ч;

P_{max} - максимальная мощность нагрузки потребителя, кВт.

Раздел 5. Методы определения расчетных электрических нагрузок

Одним из основных этапов проектирования систем электроснабжения объекта, является правильное определение ожидаемых электрических нагрузок, как отдельных ЭП, так и узлов нагрузки на всех уровнях системы электроснабжения.

Расчетные значения нагрузок - это нагрузки, соответствующие такой неизменной токовой нагрузке (I_p), которая эквивалентна фактической изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему тепловому воздействию (не превышая допустимых значений) на элемент системы электроснабжения.

Зная электрические нагрузки, можно выбрать нужную мощность силовых трансформаторов, мощность и место подключения компенсирующих устройств, выбрать и проверить токоведущие части по условию допустимого нагрева, рассчитать потери и колебания напряжения, выбрать виды защит.

Существуют различные методы расчета электрических нагрузок, которые в свою очередь делятся на:

- основные;
- вспомогательные.

Тема 5.1. Основные методы расчета электрических нагрузок

- По номинальной мощности и коэффициенту использования;
- По номинальной мощности и коэффициенту спроса;
- По средней мощности и расчетному коэффициенту;
- По средней мощности и отклонению расчетной нагрузки от средней;
- По средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузки.

Применение того или иного метода определяется допустимой погрешностью расчетов и наличия исходных данных.

По номинальной мощности и коэффициенту использования

Метод определения расчетных нагрузок по номинальной мощности и коэффициенту использования применяется, как правило, для индивидуальных ЭП напряжением до 1 кВ, работающих в длительном режиме ($P_{в}=1$).

По данному методу расчетные нагрузки принимаются равными средним значениям нагрузок за наиболее загруженную смену:

- расчетная активная мощность, потребляемая одним ЭП, при наличии графика нагрузки по активной мощности

$$P_p = P_{с.м.}, \quad (5.1)$$

где P_p – расчетная активная мощность, кВт; $P_{с.м.}$ - среднее значение активной мощности ЭП за наиболее загруженную смену, кВт;

- расчетная активная мощность, потребляемая одним ЭП, при отсутствии графика нагрузки по активной мощности

$$P_p = k_{и.а} P_H, \quad (5.2)$$

где $k_{и.а.}$ - коэффициент использования активной мощности электроприемником за рассматриваемый промежуток времени (технологический параметр), о.е.; P_H - номинальная активная мощность ЭП, кВт;

- расчетная реактивная мощность, потребляемая одним ЭП, при наличии графика нагрузки по реактивной мощности

$$Q_p = Q_{с.м.}, \quad (5.3)$$

где Q_p - расчетная реактивная мощность, кВт·Ар; $Q_{с.м.}$ - среднее значение реактивной мощности ЭП за наиболее загруженную смену, кВт·Ар;

- расчетная реактивная мощность, потребляемая одним ЭП, при отсутствии графика нагрузки по реактивной мощности

$$Q_p = k_{и.р} Q_H = P_p \operatorname{tg} \varphi_H, \quad (5.4)$$

где $k_{и.р}$ - коэффициент использования реактивной мощности ЭП за рассматриваемый промежуток времени (технологический параметр), о.е.;

Q_H - номинальная реактивная мощность ЭП, кВт; $\operatorname{tg} \varphi_H$ - номинальное значение коэффициента реактивной мощности, соответствующий $\cos \varphi_H$ ЭП;

- расчетная полная мощность, потребляемая одним ЭП

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (5.5)$$

где S_p - расчетное значение полной мощности ЭП, кВт·А;

- расчетное значение тока ЭП

$$i_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_H}, \quad (5.6)$$

где i_p - расчетный ток ЭП, А; U_H - напряжение питания ЭП, кВ.

По данному методу допускается определение расчетных нагрузок группы ЭП напряжением до 1 кВ, связанных технологическим процессом, (например, многодвигательные приводы), а их число, как правило, не более трех-четырех. Режим работы электроприемников данной группы должен быть приведен к длительному режиму (ПВ=1).

Расчетные нагрузки группы ЭП, определяемые по данному методу:

- расчетная активная мощность, потребляемая группой ЭП, при наличии группового графика узла нагрузки по активной мощности

$$P_p = P_{с.м.}, \quad (5.7)$$

где P_p - расчетная активная мощность, потребляемая группой ЭП, кВт;

$P_{с.м.}$ - средняя активная мощность, потребляемая группой ЭП, за наиболее загруженную смену, кВт;

- расчетная активная мощность, потребляемая группой ЭП, при отсутствии группового графика узла нагрузки по активной мощности

$$P_p = \sum_{i=1}^n k_{и.а.i} P_{н.i}, \quad (5.8)$$

где $k_{и.а.i}$ - коэффициент использования по активной мощности индивидуального ЭП, входящего в группу; n - число ЭП в группе;

- расчетная реактивная мощность, потребляемая группой ЭП, при наличии группового графика узла нагрузки по реактивной мощности

$$Q_p = Q_{с.м.}, \quad (5.9)$$

где Q_p - расчетная реактивная мощность группы ЭП, кВ·Ар; $Q_{с.м.}$ - среднее значение реактивной мощности группы ЭП, кВ·Ар;

- расчетная реактивная мощность, потребляемая группой ЭП, при отсутствии группового графика узла нагрузки по реактивной мощности

$$Q_p = \sum_{i=1}^n k_{и.р.i} q_{н.i} \quad \text{или} \quad Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi, \quad (5.10)$$

где $k_{и.р.i}$ - коэффициент использования по реактивной мощности индивидуального ЭП,

входящего в группу; $\operatorname{tg} \varphi$ - средневзвешенный коэффициент реактивной мощности,

соответствующий средневзвешенному значению $\cos \varphi_{с.вз.}$ данной группы ЭП;

- расчетная полная мощность, потребляемая группой ЭП

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (5.11)$$

где S_p - расчетная полная мощность узла нагрузки, кВ·А.

- Расчетное значение тока группы ЭП:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n} \quad (5.12)$$

где I_p - суммарный расчетный ток узла нагрузки, А; U_n - напряжение питания узла нагрузки, кВ.

По номинальной мощности и коэффициенту спроса

Метод определения расчетных нагрузок по номинальной мощности и коэффициенту спроса применяется, как правило, для группы ЭП, работающих в длительном режиме (ПВ=1). Данный метод наиболее прост и широко применяется при разработке технического задания на проектирование.

Для определения расчетных нагрузок по этому методу необходимо знать номинальную мощность группы приемников (производства, цеха и т.п.), коэффициент спроса данной группы ЭП и значение коэффициента мощности данной группы.

Групповые графики нагрузок подразделений предприятия, как правило, не приводятся, поэтому значения $K_{с.а.}$ и $\cos \varphi_{с.вз.}$ принимаются как средневзвешенные значения группы ЭП данного подразделения по справочной литературе.

Расчетные нагрузки по данному методу определяются по следующим выражениям:

- активная расчетная мощность

$$P_p = K_{с.а.} P_n, \quad (5.13)$$

где P_p - расчетное значение активной мощности узла нагрузки (цеха и т.п.), кВт; $K_{с.а.}$ - средневзвешенное значение коэффициента спроса группы ЭП подразделения предприятия, о.е.;

- расчетная реактивная мощность

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi, \quad (5.14)$$

где Q_p - расчетное значение реактивной мощности узла нагрузки (цеха и т.п.), кВт; $\operatorname{tg}\varphi$ - значение коэффициента реактивной мощности, соответствующего средневзвешенному значению $\cos\varphi_{\text{с.вз.}}$ группы ЭП данного подразделения;

- полная расчетная мощность

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (5.15)$$

где S_p - полная расчетная мощность группы ЭП данного подразделения, кВ·А;

- расчетное значение тока

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H} \quad (5.16)$$

где I_p - расчетный ток, А; U_H – напряжение питания узла нагрузки, кВ

Расчетные нагрузки, определенные данным методом необходимы для выбора: сечения линий электропередачи, питающих узел нагрузки; силовых пунктов и трансформаторов; коммутационных и защитных аппаратов.

По средней мощности и расчетному коэффициенту

При наличии данных о числе ЭП, их мощности и режимах их работы расчет силовых нагрузок до 1 кВ рекомендуется проводить по средней мощности (P_c) и расчетному коэффициенту (K_p). Расчетный коэффициент определяется по упорядоченным диаграммам. Поэтому данный метод носит название - метод упорядоченных диаграмм.

Для расчета нагрузок необходимы исходные данные по каждому ЭП: количество и номинальная мощность ЭП (p_n); коэффициент использования по активной мощности ($k_{и.а}$); коэффициент активной мощности ($\cos\varphi$) и режим работы. При различных режимах работы ЭП, их необходимо привести к длительному режиму ($ПВ=1$).

Для определения расчетной мощности узла нагрузки по методу упорядоченных диаграмм все электроприемники разбиваются на подгруппы с учетом их подключения к узлу питания (силовой пункт, щит, сборка и т.п.). Необходимо отметить, что при формировании подгруппы, резервные ЭП не учитываются [3].

По сформированным подгруппам ЭП определяются эффективное число электроприемников и средневзвешенный коэффициент использования данной подгруппы.

Эффективное число электроприемников – это такое число однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое обуславливает те же значения расчетной нагрузки, что и группа электроприемников с разными мощностями и различными режимами работы.

- Величина эффективного числа электроприемников подгруппы ($n_{\text{э}}$) определяется по формуле

$$n_{\text{э}} = \frac{\left(\sum_{1}^n p_{н.і} \right)^2}{\sum_{1}^n p_{н.і}^2}, \quad (5.17)$$

где $p_{н.і}$ - номинальная активная мощность отдельного ЭП, входящего в состав подгруппы, кВт; n - число ЭП в подгруппе.

При значительном числе ЭП в подгруппе (магистральные шинопроводы, шины цеховых ТП, в целом по цеху) допускается эффективное число электроприемников подгруппы определять по упрощенному выражению

$$n_{\text{Э}} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{\text{Н.}i}}{P_{\text{Н.}max}}, \quad (5.18)$$

где $P_{\text{Н.}max}$ - номинальная активная мощность наиболее мощного ЭП в подгруппе, кВт.

Полученное по указанной формуле значение эффективного числа электроприемников подгруппы округляется до ближайшего меньшего целого числа. Допускается принимать значение эффективного числа электроприемников равным действительному числу электроприемников в подгруппе при условии, что отношение номинальной активной мощности наиболее мощного ЭП ($P_{\text{Н.}max}$) к номинальной мощности наименее мощного ЭП ($P_{\text{Н.}min}$) менее трех.

- Средневзвешенный коэффициент использования для подгруппы ($K_{\text{И}}$) определяется по выражению

$$K_{\text{И}} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{\text{И.}a.i} P_{\text{Н.}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{Н.}i}}. \quad (5.19)$$

Определение расчетных нагрузок по данному методу сводится к расчету значений активной, реактивной, полной мощностей и полного тока, рассматриваемого узла нагрузки.

- Активная расчетная мощность группы электроприемников, подключенных к узлу питания напряжением до 1 кВ определяется по выражениям

$$P_{\text{р}} = K_{\text{р}} \sum_{i=1}^n P_{\text{с.}i} = K_{\text{р}} \sum_{i=1}^n k_{\text{И.}a.i} P_{\text{Н.}i} = K_{\text{р}} K_{\text{И}} P_{\text{Н}}, \quad (5.20)$$

где $P_{\text{р}}$ - активная расчетная мощность узла нагрузки, кВт; $K_{\text{р}}$ - расчетный коэффициент подгруппы, определяемый как $K_{\text{р}} = f(n_{\text{Э}}; K_{\text{И}})$, о.е.;

$P_{\text{Н.}i}$ $P_{\text{с.}i}$ – номинальная и средняя мощности ЭП, входящих в подгруппу, кВт; $k_{\text{И.}a.i}$ - коэффициент использования индивидуального ЭП в подгруппе, о.е.; $P_{\text{Н}}$ – активная суммарная мощность ЭП, входящих в подгруппу, кВт;

$K_{\text{И}}$ - средневзвешенный коэффициент использования по активной мощности для ЭП входящих в подгруппу, о.е.; n – число ЭП в подгруппе.

В случае если расчетная мощность, определенная по выражению (5.20), окажется меньше номинальной мощности наиболее мощного ЭП в подгруппе, следует принять расчетную мощность данной подгруппы равной номинальной мощности наиболее мощного ЭП.

Расчетный коэффициент определяется в зависимости от средневзвешенного коэффициента использования по активной мощности для подгруппы и эффективного числа электроприемников подгруппы. Значение расчетного коэффициента определяется по кривым этой зависимости или по таблицам с учетом постоянной времени нагрева сети, для которой рассчитываются электрические нагрузки.

Более точное значение расчетного коэффициента определяется по кривым зависимости $K_{\text{р}} = f(n_{\text{Э}}, K_{\text{И}})$, а также при $n_{\text{Э}} \leq 4$ (см. рисунок 5.1).

Для сетей напряжением до 1 кВ, питающих силовые пункты, щиты, распределительные шинопроводы, постоянная времени нагрева принята равной 10 минутам ($T_0=10$ мин.). В данном случае, расчетный коэффициент определяется по таблице 5.1.

Для магистральных шинопроводов и шин НН цеховых ТП постоянная времени нагрева принята равной 2,5 часа ($T_0=2,5$ ч.). В данном случае расчетный коэффициент определяется по таблице 5.2.

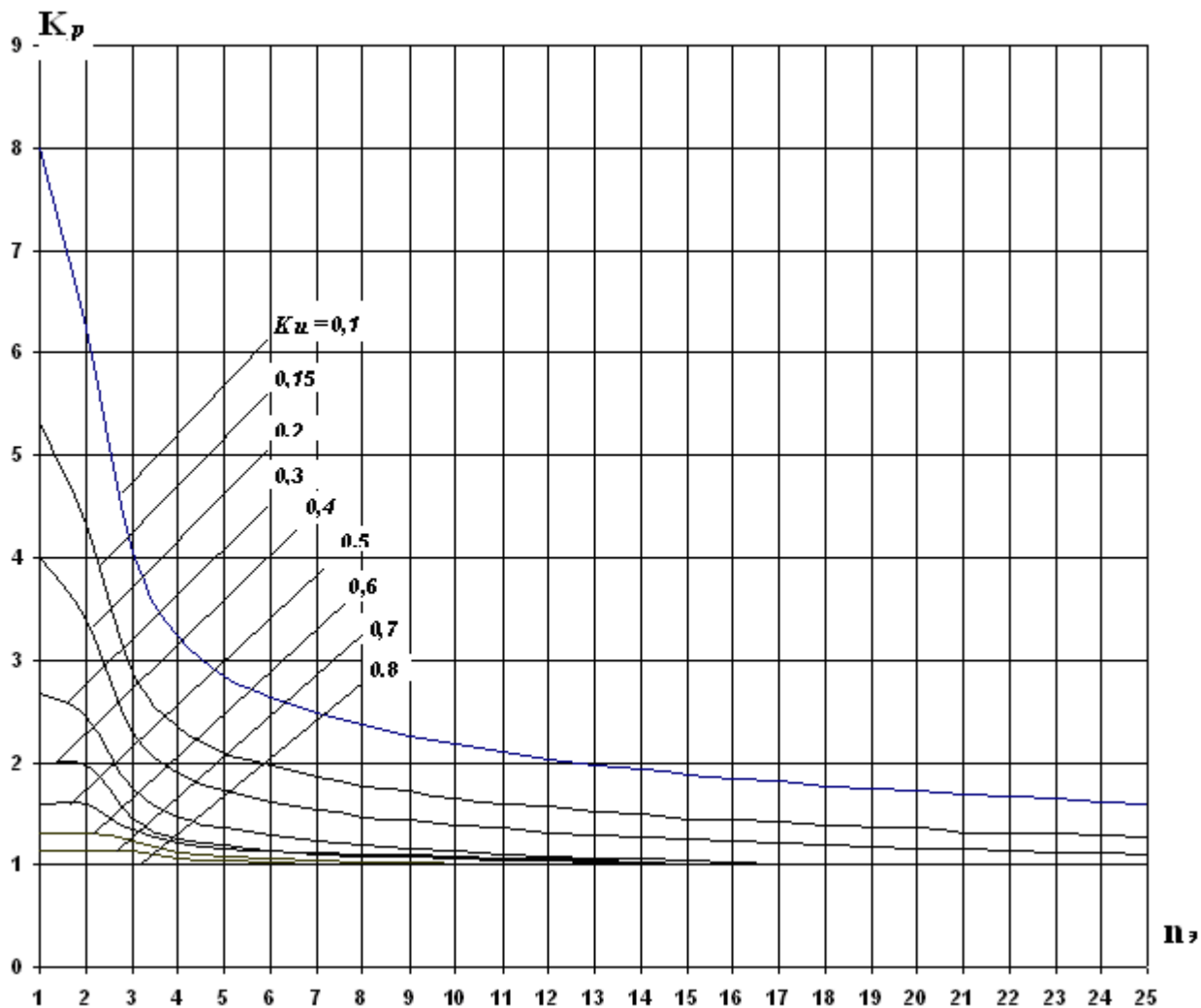


Рисунок 5.1 Кривые коэффициентов расчетной нагрузки K_p для различных коэффициентов использования $K_{И}$ в зависимости от $n_{Э}$

Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p
для питающих сетей напряжением до 1 кВ

nЭ	Коэффициент использования $K_{И}$								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,6	1,33	1,14	1,0
2	6,22	4,33	3,39	2,45	1,98	1,6	1,33	1,14	1,0
3	4,05	2,89	2,31	1,74	1,45	1,34	1,22	1,14	1,0
4	3,24	2,35	1,91	1,47	1,25	1,21	1,12	1,06	1,0
5	2,84	2,09	1,72	1,35	1,16	1,16	1,08	1,03	1,0
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,14	1,13	1,06	1,01	1,0
7	2,49	1,86	1,54	1,23	1,12	1,1	1,04	1,0	1,0
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,1	1,08	1,02	1,0	1,0
9	2,27	1,71	1,43	1,16	1,09	1,07	1,01	1,0	1,0
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,07	1,05	1,0	1,0	1,0
11	2,11	1,61	1,35	1,1	1,06	1,04	1,0	1,0	1,0
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,05	1,03	1,0	1,0	1,0
13	1,99	1,52	1,29	1,06	1,04	1,01	1,0	1,0	1,0
14	1,94	1,49	1,27	1,05	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,89	1,46	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
17	1,81	1,41	1,21	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,78	1,39	1,19	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19	1,75	1,36	1,17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	1,72	1,35	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	1,6	1,27	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	1,51	1,21	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
35	1,44	1,26	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
40	1,4	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
45	1,35	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,3	1,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
60	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
70	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
80	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Значения коэффициентов K_p на шинах НН цеховых трансформаторов
и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

пЭ	Коэффициент использования $K_{И}$							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7 и более
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,6	1,33	1,14
2	5,01	3,44	2,69	1,9	1,52	1,24	1,11	1,0
3	2,94	2,17	1,8	1,42	1,23	1,14	1,08	1,0
4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1,0	0,97
5	1,31	1,12	1,02	1,0	0,98	0,96	0,94	0,93
6 - 8	1,2	1,0	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
9 - 10	1,1	0,97	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10 - 25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9
25 - 50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,85	0,85
Более 50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8

- Расчетная реактивная мощность узла нагрузки по этому методу определяется по формулам:

$$\text{- при } n_3 \leq 10 \quad Q_p = 1,1 \sum_{1}^n k_{и.и} P_{н.и} \operatorname{tg} \varphi; \quad (5.21)$$

$$\text{- при } n_3 > 10 \quad Q_p = \sum_{1}^n k_{и.и} P_{н.и} \operatorname{tg} \varphi, \quad (5.22)$$

где Q_p - расчетная реактивная мощность, кВ·Ар; $\operatorname{tg} \varphi$ - коэффициент реактивной мощности, соответствующий средневзвешенному значению $\cos \varphi_{с.вз.}$ для ЭП входящего в данную группу.

- Полная расчетная мощность узла нагрузки

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (5.23)$$

где S_p - полная расчетная мощность, кВ·А.

- Расчетный ток узла нагрузки

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_H}, \quad (5.24)$$

где I_p - расчетный ток, А; U_H - номинальное напряжение узла питания, кВ.

После определения расчетных нагрузок подгрупп ЭП по узлам питания (силовой пункт, щит, сборка и т.п.) рассчитывается нагрузка всего подразделения (цеха, корпуса и т.п.). Подразделение рассматривается как центр питания всех подгрупп ЭП, а расчетные нагрузки подгрупп ЭП составляют группу нагрузок всего подразделения. Допускается пЭ определять по упрощенной формуле (5.18). Расчет нагрузок подразделения в целом производится аналогично, как и для подгрупп ЭП. Но в формулах (5.19 и 5.20) вместо мощностей и коэффициентов, индивидуальных ЭП необходимо подставлять мощности и коэффициенты, рассчитанные для подгруппы ЭП. При расчете суммарной нагрузки

подразделения в целом необходимо учитывать осветительную нагрузку всего подразделения (цеха) (см. подраздел 5.5)

По средней мощности и отклонению расчетной нагрузки от средней

Поскольку групповая нагрузка представляет собой систему независимых случайных нагрузок отдельных электроприемников, то при большом их числе групповая нагрузка подчиняется нормальному закону распределения случайных величин. Данный метод расчета – статистический метод расчета нагрузок.

По этому методу расчетную нагрузку группы приемников определяют двумя интегральными показателями: генеральной средней нагрузкой (P_c) и генеральным среднеквадратичным отклонением (σ) из уравнения:

$$P_p = P_c + \beta \sigma, \quad (5.25)$$

где β – статический коэффициент, зависящий от закона распределения и принятой вероятности превышения по графики нагрузки P_p от уровня P_c ;

σ – среднеквадратичным отклонением для принятого интервала осреднения.

Среднеквадратичное отклонение для группового графика определяют по формуле:

$$\sigma = \sqrt{DP} = \sqrt{P_{c.к.}^2 - P_c^2}, \quad (5.26)$$

где $P_{c.к.}$ – активная среднеквадратичная мощность, кВт.

Статистический метод позволяет определять расчетную нагрузку с любой принятой вероятностью ее появления. В практических расчетах вполне достаточно принять вероятность превышения расчетной нагрузки от средней, на 0,5 %, что соответствует $\beta = 2,5$ тогда:

$$P_p = P_c + 2,5\sigma \quad (5.27)$$

Применение этого метода целесообразно для определения нагрузок по отдельным группам и узлам СЭС при наличии результатов анализа действующих электроустановок напряжением до 1 кВ.

Расчетные значения полной мощности и тока по данному методу для группы ЭП определяются по известным формулам.

По средней мощности и коэффициенту формы графика

В данном методе расчетную нагрузку группы ЭП принимают равной их среднеквадратичной. Метод применим для расчета нагрузок группы ЭП, когда число приемников в группе достаточно велико, и их режим работы разнообразен.

Данный метод может применяться для определения расчетных нагрузок цеховых шинопроводов, на шинах низшего напряжения цеховых трансформаторных подстанций, на шинах РУ напряжением 6; 10 кВ, когда значения коэффициента формы графика ($K_{ф.а.}$) достаточно стабильны.

По данному методу расчетные нагрузки группы электроприемников определяют по формулам:

- активная мощность

$$P_p = P_{c.к.} = K_{ф.а.} P_{c.м.}, \quad (5.28)$$

где P_p – расчетное значение активной мощности, кВт; $K_{ф.а.}$ – коэффициент формы

графика по активной мощности; $P_{c.м.}$ – расчетное значение средней мощности группы ЭП за наиболее загруженную смену, кВт;

- реактивная мощность

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi, \quad (5.29)$$

где Q_p - расчетное значение реактивной мощности, кВ·Ар; $\operatorname{tg} \varphi$ - коэффициент реактивной мощности, соответствующий средневзвешенному $\cos \varphi_{с.вз.}$ узла нагрузки;
 - полная мощность

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (5.30)$$

где S_p - расчетное значение полной мощности, кВ·А;
 - расчетный ток

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H} \quad (5.31)$$

где I_p - расчетное значение тока узла нагрузки, А; U_H - напряжение узла питания нагрузки, кВ.

Значения коэффициента формы графика достаточно стабильны, если производительность (и, как следствие, нагрузка) завода или цеха примерно постоянна. При проектировании значение коэффициента K_ϕ может быть принято по опытным данным аналогичного действующего предприятия. При отсутствии данных можно принимать $K_{\phi.a.} = 1,1 \dots 1,2$.

Все рассмотренные методы определения расчетных нагрузок применяются при расчетах симметричных трехфазных нагрузок.

Тема 5.2. Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок

К вспомогательным методам относятся методы определения расчетных электрических нагрузок по удельным показателям:

- метод расчета по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции за определенный период времени;
- метод расчета по удельной мощности на единицу производственной площади.

По удельному расходу электроэнергии на единицу продукции

Для потребителей электрической энергии с неизменной или мало изменяющейся во времени нагрузкой, расчетная нагрузка совпадает со средней нагрузкой за наиболее загруженную смену. В данном случае расчетное значение нагрузок может быть определено по удельному расходу электрической энергии на единицу продукции при заданном объеме выпуска за определенный период времени (например, за наиболее загруженную смену, месяц, год).

Значение активной расчетной мощности за наиболее загруженную смену

$$P_p = P_{с.м} = \frac{W_{уд} \cdot N_{с.м}}{T_{с.м}}, \quad (5.32)$$

где $P_{с.м}$ - среднее значение потребляемой активной мощности за наиболее загруженную смену, кВт; $W_{уд}$ - удельный расход активной электроэнергии на единицу продукции за наиболее загруженную смену, кВт·ч; $N_{с.м}$ - количество продукции, выпускаемой за смену (шт., тонна); $T_{с.м}$ - продолжительность наиболее загруженной смены, ч.

Остальные показатели расчетных нагрузок (Q_p ; S_p ; и I_p) по данному методу определяются по аналогии с предыдущими методами расчета электрических нагрузок.

Удельный расход электроэнергии на единицу продукции ориентировочно можно принять по статистическим данным действующих предприятий с аналогичным технологическим процессом.

По удельной мощности на единицу производственной площади

Метод определения расчетной нагрузки по удельной мощности на единицу производственной площади применяется при проектировании сетей, которые характеризуются большим количеством электроприемников малой и средней мощности, равномерно распределенных по площади производственного помещения.

Расчетная нагрузка по данному методу определяется по номинальной мощности и коэффициенту спроса, т.к. количество электроприемников велико, а исходные данные по отдельным электроприемникам, как правило, отсутствуют.

Активная расчетная мощность определяется по выражению

$$P_p = K_c P_H, \quad (5.33)$$

где P_p - расчетное значение активной мощности для группы ЭП, расположенных на данной территории, кВт; K_c - средневзвешенный коэффициент спроса группы ЭП, для которых определяется расчетное значение мощности; P_H - номинальная суммарная активная мощность группы электроприемников, расположенных на данной территории, кВт;

При отсутствии перечня оборудования, расположенного на данной территории, номинальная мощность группы электроприемников по данному методу определяется по формуле

$$P_H = p_{уд} \cdot F, \quad (5.34)$$

где P_H - активная номинальная мощность группы электроприемников, кВт;

$p_{уд}$ - удельная мощность на 1 м^2 производственной мощности, кВт/ м^2 ;

F - площадь, на которой размещена группа приемников, м^2 .

Удельную мощность нагрузки определяют по статистическим данным или справочной литературе для однородных производств. Её значение зависит от многих факторов.

Остальные показатели расчетных нагрузок (Q_p ; S_p ; и I_p) по данному методу определяются по аналогии с предыдущими методами расчета электрических нагрузок.

Метод применим для ориентировочных расчетов, однако получил широкое применение при расчете мощности осветительных нагрузок отдельных корпусов подразделений предприятия, т.к. осветительная нагрузка равномерно распределена по площади подразделения.

Тема 5.3. Расчетные нагрузки однофазных электроприемников

На промышленных предприятиях наряду с трехфазными ЭП имеют место стационарные и передвижные ЭП однофазного тока, подключаемые на фазное или линейное напряжение.

При включении однофазного электроприемника на фазное напряжение он учитывается как эквивалентный трехфазный электроприемник с номинальной мощностью.

- Активная эквивалентная номинальная мощность

$$P_H = 3p_{H.O.}, \quad (5.35)$$

где P_H - активная эквивалентная номинальная мощность, кВт; $p_{H.O.}$ - активная номинальная мощность однофазного электроприемника, кВт.

- Эквивалентная номинальная реактивная мощность

$$Q_H = 3q_{H.O.}, \quad (5.36)$$

где Q_H - эквивалентная номинальная реактивная мощность, $\text{kB}\cdot\text{Ar}$; $q_{H.O.}$ - активная номинальная мощность однофазного электроприемника, $\text{kB}\cdot\text{Ar}$.

При включении однофазного электроприемника на линейное напряжение он учитывается как эквивалентный трехфазный электроприемник с номинальной мощностью.

- Активная эквивалентная номинальная мощность

$$P_H = \sqrt{3}p_{H.O.}, \quad (5.37)$$

где P_H - активная эквивалентная номинальная мощность, кВт; $p_{H.O.}$ - активная номинальная мощность однофазного электроприемника, кВт.

- Эквивалентная номинальная реактивная мощность

$$Q_H = \sqrt{3}q_{H.O.}, \quad (5.38)$$

где Q_H - эквивалентная номинальная реактивная мощность, $\text{kB}\cdot\text{Ar}$; $q_{H.O.}$ - активная номинальная мощность однофазного электроприемника, $\text{kB}\cdot\text{Ar}$.

Номинальные значения полной мощности и тока однофазного электроприемника определяются по известным формулам.

При наличии группы однофазных ЭП, которые распределены по фазам с неравномерностью до 15 % по отношению к общей мощности ЭП в группе. В данном случае они могут быть учтены в расчетах как эквивалентная группа трехфазных ЭП с той же суммарной номинальной мощностью.

В случае превышения указанной неравномерности распределения по фазам, номинальная мощность эквивалентной группы однофазных ЭП (при их числе менее четырех) принимается тройному значению номинальной мощности наиболее загруженной фазы

$$P_{H.y} = 3p_{H.M.ф.} \quad (5.39)$$

где $P_{H.y}$ - номинальная условная мощность трехфазной нагрузки группы однофазных ЭП, кВт; $p_{H.M.ф.}$ - номинальная мощность ЭП максимально загруженной фазы, кВт.

Расчет номинальных реактивных нагрузок производится аналогично. При расчете нагрузок все ЭП должны быть приведены к длительному режиму ($P_B=1$).

При определении расчетных нагрузок применяются расчетные коэффициенты в зависимости от наличия исходной информации.

Остальные показатели расчетных нагрузок (Q_p ; S_p ; и I_p) по данному методу определяются по аналогии с предыдущими методами расчета электрических нагрузок.

Тема 5.4. Определение пиковых нагрузок

Пиковая нагрузка - кратковременная максимальная нагрузка длительностью, как правило, 1...2 с.

Расчет пиковой нагрузки сводится к расчету пикового тока, как правило, пусковые токи двигательной нагрузки и сварочных аппаратов.

- Для индивидуального ЭП значение пикового тока определяется

$$i_{II} = i_{\text{пуск}}, \quad (5.40)$$

где i_{II} - расчетное значение пикового тока, А; $i_{\text{пуск}}$ - значение пускового тока индивидуального ЭП (паспортная величина), А.

Значение пускового тока принимается по паспортным данным, но при отсутствии таковых, при инженерных расчетах можно принять:

- для асинхронных ЭД с короткозамкнутым ротором и синхронных ЭД

$$i_{\text{пуск}} = 5i_{\text{H}}; \quad (5.41)$$

- для асинхронных ЭД с фазным ротором и ЭД постоянного тока

$$i_{\text{пуск}} = 2,5 \cdot i_{\text{H}}; \quad (5.42)$$

- для сварочных и печных трансформаторов,

$$i_{\text{пуск}} = 3i_{\text{H}} \quad (5.43)$$

где i_{H} – номинальный ток электроприемника, А.

Для группы ЭП общего назначения значение пикового тока в узле нагрузки определяется

$$I_{\text{П}} = i_{\text{пуск.м.}} + \left(\rho - k_{\text{И}} \cdot i_{\text{H.м.}} \right), \quad (5.44)$$

где $I_{\text{П}}$ – расчетное значение пикового тока для группы электроприемников общего назначения, А; $i_{\text{пуск.м.}}$ – наибольший из пусковых токов ЭД из группы, А; $I_{\text{р}}$ – расчетный ток узла нагрузки, А; $k_{\text{И}}$ – коэффициент использования ЭД, имеющего наибольший пусковой ток; $i_{\text{H.м.}}$ – номинальный ток ЭД (приведенный к ПВ=1) с наибольшим пусковым током, А.

Расчетные значения пиковых токов необходимы для правильного выбора токовых защит, защитных аппаратов, при расчете самозапуска ЭД.

Тема 5.5. Расчетные нагрузки осветительных электроустановок

Основная доля осветительных нагрузок относится к подразделениям (цехам) предприятия.

Расчет нагрузок осветительных электроустановок производится по номинальной мощности и коэффициенту спроса по следующим формулам:

- активная мощность нагрузки

$$P_{\text{р.о.}} = K_{\text{с.о.}} \cdot K_{\text{п.п.}} \cdot P_{\text{н.о.}}; \quad (5.45)$$

- реактивная мощность нагрузки

$$Q_{\text{р.о.}} = P_{\text{р.о.}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{H}}; \quad (5.46)$$

- полная мощность нагрузки

$$S_{\text{р.о.}} = \sqrt{P_{\text{р.о.}}^2 + Q_{\text{р.о.}}^2}; \quad (5.47)$$

- расчетный ток нагрузки

$$I_{\text{р.о.}} = \frac{S_{\text{р.о.}}}{\sqrt{3} U_{\text{H.о.}}}, \quad (5.48)$$

где $P_{\text{р.о.}}$ – расчетная активная мощность осветительной нагрузки, кВт; $K_{\text{с.о.}}$ – коэффициент спроса для осветительной нагрузки (справочная величина); $K_{\text{п.п.}}$ – коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре при применении газоразрядных источников света (справочная величина); $P_{\text{н.о.}}$ – номинальная мощность осветительной нагрузки, кВт; $Q_{\text{р.о.}}$ – расчетная реактивная мощность нагрузки (при применении разрядных источников света), кВ·Ар;

$S_{p.o.}$ - полная мощность нагрузки, кВ·А; $I_{p.o.}$ - расчетный ток нагрузки, А; $U_{н.о.}$ - номинальное напряжение осветительной нагрузки, кВ; $\text{tg}\varphi_H$ - соответствует $\text{COS}\varphi_H$ осветительной нагрузки.

Номинальная мощность осветительной нагрузки определяется, исходя из удельной мощности на единицу площади:

$$P_{н.о.} = p_{уд}F, \quad (5.49)$$

где $p_{уд}$ - удельная мощность осветительной нагрузки на единицу площади цеха, Вт /м² (справочная величина); F- площадь цеха, м².

Удельная мощность осветительной нагрузки зависит от нормы освещённости на рабочем месте, от типа источников света, высоты подвеса и других факторов.

Тема 5.6. Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок

Применение того или иного метода определяется допустимой погрешностью расчетов и наличием исходных данных. При проведении укрупненных расчетов пользуются методами, базирующимися на данных о суммарной установленной мощности отдельных групп приемников (подразделения, цеха и т.п.). Методы, основанные на использовании данных о единичных приемниках, относятся к наиболее точным.

Из анализа рассмотренных различных методов определения расчетных нагрузок можно сделать следующие выводы:

- определение расчетных нагрузок отдельных электроприемников напряжением до 1 кВ рекомендуется по коэффициенту использования.

- для определения расчетных нагрузок по отдельным группам электроприемников и узлам нагрузки напряжением до 1 кВ в цеховых сетях, при наличии исходной информации, следует использовать метод упорядоченных диаграмм.

- для определения расчетных нагрузок на высших ступенях системы электроснабжения (начиная с шин цеховых ТП до высшего уровня СЭС) следует использовать методы расчета, основанные на использовании средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузки или расчетному коэффициенту (при наличии исходных данных).

- При ориентировочных расчетах на высших ступенях системы электроснабжения возможно применение методов расчета по номинальной мощности и коэффициенту спроса. В частных случаях применяется метод по удельным показателям потребления электроэнергии.

Тема 5.7. Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС

Определение электрических нагрузок при проектировании системы электроснабжения объекта выполняют для характерных мест присоединения приемников электроэнергии (уровней СЭС). При этом отдельно рассматриваются сети до 1 кВ и сети выше 1 кВ. Обобщенная электрическая схема СЭС предприятия приведена на рисунке 5.1. На схеме цифрами обозначены уровни, для которых рассмотрены методики расчета электрических нагрузок.

Рассмотрим более подробно расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС.

- Первый уровень

За расчетную нагрузку, создаваемую отдельными ЭП напряжением до 1 кВ, принимается средняя мощность. Все ЭП приводятся к длительному режиму (ПВ=1).

Расчетные нагрузки на данном уровне для отдельных ЭП определяются по формулам (5.1 ÷ 5.6).

Расчетные нагрузки, определенные на данном уровне необходимы для выбора: сечения радиальных или магистральных линий, питающих ЭП; коммутационных и защитных аппаратов.

- Второй уровень

Расчетную нагрузку, создаваемую группой ЭП напряжением до 1 кВ, определяют по номинальной мощности и средневзвешенному коэффициенту использования для данной группы.

Расчетные нагрузки на данном уровне для группы ЭП определяются по формулам (5.7 ÷ 5.12).

По расчетным нагрузкам группы ЭП выбираются: сечения распределительных шинопроводов; силовые пункты; сечения линий электропередачи (проводов, кабелей), питающих силовые пункты; коммутационные и защитные аппараты узла нагрузки.

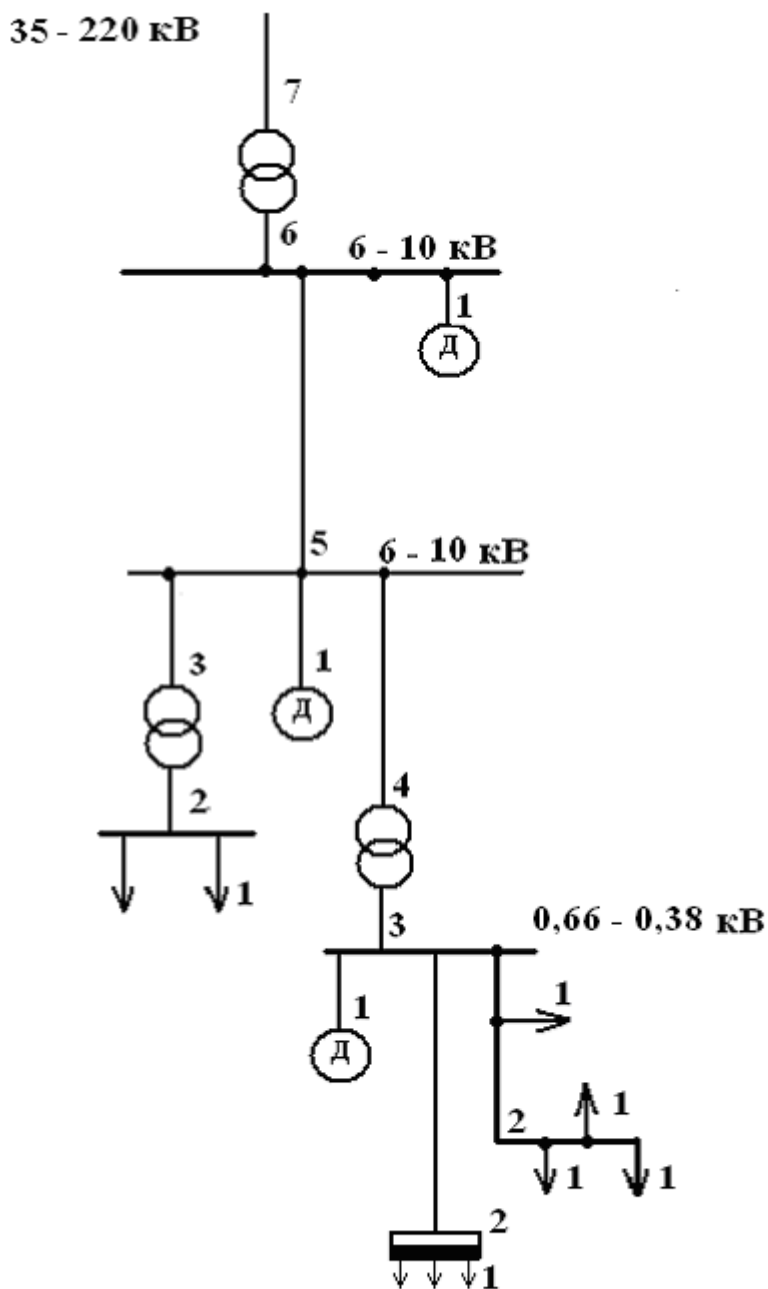


Рисунок 5.1 Упрощенная схема характерных мест определения расчетных нагрузок в системе электроснабжения промышленного предприятия

Третий уровень

Расчет силовых нагрузок, создаваемых группой ЭП напряжением до 1 кВ на шинах цеховых ТП или силовых пунктов, питающих данное подразделение (цех), производится:

- по номинальной мощности и расчетному коэффициенту, при наличии исходных данных отдельных ЭП;
- по номинальной мощности и коэффициенту спроса, при известной установленной мощности подразделения в целом.

Подробно данные методы расчета электрических нагрузок изложены в разделе 5.1.

Расчетные нагрузки на данном уровне для группы ЭП по номинальной мощности и расчетному коэффициенту определяются по формулам (5.17 ÷ 5.24), а по номинальной мощности и коэффициенту спроса - по формулам (5.13 ÷ 5.16).

Нельзя забывать и о расчетной осветительной нагрузке подразделения, которую необходимо суммировать с расчетной силовой нагрузкой подразделения в целом. Методика расчета осветительной нагрузки изложена ранее, а расчетные значения определяются по формулам (5.44 ÷ 5.48)

Таким образом, расчетные нагрузки подразделения в целом определяются по формулам:

- активная мощность

$$P_{р.ц.} = P_{р.с.} + P_{р.о.}, \quad (5.50)$$

где $P_{р.ц.}$ – расчетное значение активной мощности цеха на стороне низшего напряжения, кВт; $P_{р.с.}$ - расчетное значение активной мощности силовой нагрузки цеха, кВт; $P_{р.о.}$ - расчетное значения активной мощности осветительной нагрузки цеха, кВт;

- реактивная мощность

$$Q_{р.ц.} = Q_{р.с.} + Q_{р.о.}, \quad (5.51)$$

где $Q_{р.ц.}$ – расчетное значение реактивной мощности цеха на стороне низшего напряжения, кВ·Ар; $Q_{р.с.}$ - расчетное значение реактивной мощности силовой нагрузки цеха, кВ·Ар; $Q_{р.о.}$ - расчетное значение реактивной мощности осветительной нагрузки цеха, кВ·Ар;

- полная мощность

$$S_{р.ц.} = \sqrt{P_{р.ц.}^2 + Q_{р.ц.}^2}, \quad (5.52)$$

где $S_{р.ц.}$ - расчетное значение полной мощности цеха на стороне низшего напряжения, кВ·А;

- расчетный ток

$$I_{р.ц.} = \frac{S_{р.ц.}}{\sqrt{3}U_H}, \quad (5.53)$$

где $I_{р.ц.}$ - расчетное значение тока узла нагрузки, А; U_H - номинальное напряжение узла нагрузки, кВ.

Расчетные нагрузки подразделения в целом необходимы для выбора: сечения линий электропередачи, питающих подразделение в целом; силовых пунктов и трансформаторов цеховых ТП; сечения шин РУ низшего напряжения цеховых СП или ТП; коммутационных и защитных аппаратов; устройств релейной защиты и автоматики.

Четвертый уровень

Расчетные значения нагрузок на стороне высшего напряжения силовых трансформаторов цеховых ТП определяют с учетом потерь мощности в трансформаторах по следующим выражениям:

- активная мощность

$$P_{р.в.н.} = P_{р.ц.} + \Delta P_T, \quad (5.54)$$

где $P_{р.в.н.}$ - расчетное значение активной мощности, потребляемой цехом на стороне высшего напряжения питающего трансформатора, кВт; $P_{р.ц.}$ - расчетное значение активной мощности, потребляемой цехом на стороне низшего напряжения питающего трансформатора, кВт; ΔP_T - потери активной мощности в цеховом трансформаторе, кВт;

- реактивная мощность

$$Q_{р.в.н.} = Q_{р.ц.} + \Delta Q_T, \quad (5.55)$$

где $Q_{р.в.н.}$ - расчетное значение реактивной мощности, потребляемой цехом на стороне высшего напряжения, кВ·Ар; $Q_{р.ц.}$ - расчетное значение реактивной мощности, потребляемой цехом на стороне низшего напряжения питающего трансформатора, кВ·Ар; ΔQ_T - потери реактивной мощности в цеховом трансформаторе, кВ·Ар;

- полная мощность

$$S_{р.в.н.} = \sqrt{P_{р.в.н.}^2 + Q_{р.в.н.}^2}, \quad (5.56)$$

где $S_{р.в.н.}$ - расчетное значение полной мощности потребляемой на стороне высшего напряжения цеховой ТП, кВ·А;

- расчетный ток

$$I_{р.в.н.} = \frac{S_{р.в.н.}}{\sqrt{3}U_H}, \quad (5.57)$$

где $I_{р.в.н.}$ - расчетное значение тока линии питающей цеховую ТП, А;

U_H - номинальное напряжение линии питающей цеховую ТП, кВ.

Так как тип силового трансформатора еще неизвестен, можно принимать

$$\Delta P_T = 0.02 S_{р.ц.}, \text{ кВт}; \quad \Delta Q_T = 0.1 S_{р.ц.}, \text{ кВ·Ар}.$$

По полученным расчетным значениям нагрузок выбирают: сечение линии, питающие цеховые ТП; коммутационную и защитную аппаратуру; устройства релейной защиты и автоматики этих линий.

Пятый уровень

Расчетные значения нагрузок на шинах РП 6; 10 кВ определяют по активным и реактивным нагрузкам потребителей, питающихся от шин данного РП, с учетом коэффициента одновременности максимумов нагрузки цехов и силовой нагрузки напряжением выше 1 кВ, подключенной к шинам РП.

Дополнительно необходимо учитывать потери мощности в компенсирующих устройствах, подключенных к шинам РП.

Расчетные значения нагрузок определяются по формулам:

- расчетное значение активной мощности

$$P_{р.рп} = \sum P_{р.в.н.} + \sum P_{р.с} K_{о.а} + \Delta P_{к.у.}, \quad (5.58)$$

где $P_{р.рп}$ - расчетное значение активной мощности на шинах РП, с учетом всех

подключенных нагрузок, кВт; $\sum P_{р.в.н.}$ - суммарная расчетная активная мощность на

стороне высшего напряжения цеховых ТП, питающихся от шин данного РП, кВт; $\sum P_{р.с}$ -

суммарная расчетная активная мощность силовых приемников напряжением выше 1кВ, питающихся от шин РП, кВт; $K_{o.a}$ – коэффициент одновременности максимумов активной мощности в рассматриваемом узле потребления и зависит от средневзвешенного коэффициента использования группы ЭП и числа присоединений к сборным шинам РП (справочная величина) [4]; $\Delta P_{к.у.}$ - потери активной мощности в компенсирующих устройствах, подключенных к шинам РП, кВт;

- расчетное значение реактивной мощности при известном коэффициенте одновременности максимумов реактивной мощности в рассматриваемом узле потребления

$$Q_{p.рп} = \sum Q_{p.в.н.} + \sum Q_{p.с} K_{o.q} + \Delta Q_{к.у.}, \quad (5.59)$$

где $Q_{p.рп}$ – расчетная реактивная мощность на шинах РП, с учетом всех подключенных нагрузок, кВ·Ар; $\sum Q_{p.в.н.}$ – суммарное расчетное значение реактивной мощности на

стороне высшего напряжения цеховых ТП, питающихся от шин данного РП, кВ·Ар; $\sum Q_{p.с}$

– суммарная расчетная реактивная мощность силовых приемников напряжения выше 1кВ, питающихся от шин РП, кВ·Ар; $K_{o.q}$ - коэффициент одновременности максимумов

реактивной мощности в рассматриваемом узле потребления; $\Delta Q_{к.у.}$ - потери реактивной мощности в компенсирующих устройствах, подключенных к шинам РП, кВ·Ар;

- расчетное значение реактивной мощности при неизвестном коэффициенте одновременности максимумов реактивной мощности

$$Q_{p.рп} = P_{p.рп} \operatorname{tg} \varphi_{с.в.} + \Delta Q_{к.у.}, \quad (5.60)$$

где $P_{p.рп}$ - расчетное значение активной мощности на шинах РП, кВт; $\operatorname{tg} \varphi_{с.в.}$ – средневзвешенный коэффициент реактивной мощности, соответствующий средневзвешенному $\cos \varphi_{с.в.}$ нагрузки РП;

- расчетное значение полной мощности

$$S_{p.рп} = \sqrt{P_{p.рп}^2 + Q_{p.рп}^2}, \quad (5.61)$$

где $S_{p.рп}$ – расчетное значение полной мощности на шинах РП, кВ·А;

- расчетное значение тока линий, питающих РП

$$I_{p.рп} = \frac{S_{p.рп}}{\sqrt{3}U_H}, \quad (5.62)$$

где $I_{p.рп}$ – расчетное значение тока линий, питающих РП, А;

U_H – номинальное напряжение на шинах РП, кВ.

По полученным значениям нагрузок выбирают: шинные конструкции РП; сечение линии, питающих РП; коммутационную и защитную аппаратуру; устройства релейной защиты и автоматики электроустановки.

Шестой уровень

Расчетные значения нагрузок на шинах НН ППЭ определяются по расчетным значениям мощности всех отходящих от секции шин линий и силовой нагрузки напряжением выше 1 кВ, подключенной к секции шин, с учетом коэффициента одновременности максимумов силовой нагрузки, в данном узле питания. Также необходимо учитывать расчетную мощность осветительной нагрузки территории предприятия и потери активной мощности в компенсирующих устройствах, подключены к данному узлу нагрузки.

Расчетные значения нагрузок на данном уровне определяются по формулам:

- расчетные значения активной мощности

$$P_{p.нн.пгэ} = K_{o.a} \sum P_{p.i} + P_{p.o.t.} + \Delta P_{к.у.}, \quad (5.63)$$

где $P_{p.пгэ}$ – расчетное значение активной мощности потребляемой, питающих от шин НН ППЭ, кВт; $\sum P_{p.i}$ – суммарное значение активных расчетных мощностей всех отходящих от шин ППЭ линий, кВт; $K_{o.a}$ – коэффициент одновременности максимумов силовой нагрузки в рассматриваемом узле потребления; $P_{p.o.t.}$ - расчетное значение активной мощности осветительной нагрузки территории предприятия, кВт; $\Delta P_{к.у.}$ - потери активной мощности в компенсирующих устройствах, подключенных к шинам РП, кВт;

- расчетные значения реактивной мощности

$$Q_{p.нн.пгэ} = P_{p.пгэ} \operatorname{tg} \varphi_{с.в.} + \Delta Q_{к.у.}, \quad (5.64)$$

где $Q_{p.нн.пгэ}$ – расчетное значение реактивной мощности потребляемой от шин НН ППЭ, кВ·Ар; $\Delta Q_{к.у.}$ - потери реактивной мощности в компенсирующих устройствах, подключенных к шинам ППЭ, кВт;

- расчетные значения полной мощности

$$S_{p.нн.пгэ} = \sqrt{P_{p.пгэ}^2 + Q_{p.пгэ}^2} \quad (5.65)$$

где $S_{p.нн.пгэ}$ – расчетное значение полной мощности, потребляемой от шин НН ППЭ, кВ·А;

- расчетные значения тока

$$I_{p.нн.пгэ} = \frac{S_{p.пгэ}}{\sqrt{3}U_H} \quad (5.66)$$

где $I_{p.нн.пгэ}$ – расчетное значение тока питающих от шин НН ППЭ линий, А. U_H – номинальное напряжение на шинах РУ НН ППЭ, кВ.

При определении расчетных нагрузок на шинах РП и шинах НН распределительного устройства ППЭ, значение коэффициента одновременности максимумов силовой нагрузки, определяют по [4] в зависимости от значения средневзвешенного коэффициента использования и числа присоединений, рассматриваемого узла нагрузки. Как правило, коэффициент одновременности максимумов нагрузок отдельных групп приемников, принимается равным от 0,85 до 1,0 в зависимости от места нахождения данного узла в системе электроснабжения предприятия.

Расчетные значения осветительных нагрузок территории предприятия определяются по аналогии с формулой (5.3; 5.4) настоящего пособия.

По полученным расчетным значениям нагрузок выбирают мощность силовых трансформаторов ППЭ, сечение токоведущих частей, коммутационную и защитную аппаратуру распределительного устройства НН ППЭ предприятия.

Седьмой уровень

Расчетные значения нагрузок на стороне ВН ППЭ определяют по расчетным значениям нагрузок на шинах РУ НН ППЭ с учетом потерь в силовых трансформаторах ППЭ.

- Расчетное значение активной мощности

$$P_{p.вн.пгэ} = P_{p.нн.пгэ} + \Delta P_T, \quad (5.67)$$

где $P_{р.вн.ппэ}$ – расчетное значение активной мощности на стороне ВН ППЭ, кВт; ΔP_T – потери активной мощности в силовом трансформаторе ППЭ, кВт.

- Расчетное значение реактивной мощности

$$Q_{р.вн.ппэ} = Q_{р.нн.ппэ} + \Delta Q_T, \quad (5.68)$$

где $Q_{р.вн.ппэ}$ – расчетное значение реактивной мощности на стороне ВН ППЭ, кВ·Ар;

ΔQ_T – потери реактивной мощности в силовом трансформаторе ППЭ, кВ·Ар.

Потери активной и реактивной мощностей в трансформаторе приближенно можно определить по аналогии с потерями в цеховых трансформаторах.

- Расчетное значение полной мощности

$$S_{р.вн.ппэ} = \sqrt{P_{р.вн.ппэ}^2 + Q_{р.вн.ппэ}^2}, \quad (5.69)$$

где $S_{р.вн.ппэ}$ – расчетное значение полной мощности, на стороне ВН ППЭ, кВ·А.

- Расчетные значения тока

$$I_{р.вн.ппэ} = \frac{S_{р.вн.ппэ}}{\sqrt{3}U_H}, \quad (5.70)$$

где $I_{р.вн.ппэ}$ – расчетное значение тока, линий питающих ППЭ предприятия от источника питания, А. U_H – номинальное напряжение системы питания, кВ.

По полученным расчетным значениям нагрузок системы питания выбирают сечение линий, питающих ППЭ, коммутационную и защитную аппаратуру устройства ВН ППЭ предприятия.

После предварительного расчета электрических нагрузок на всех уровнях СЭС объекта производят расчет мощностей компенсирующих устройств и определяют места их размещения.

Далее необходимо произвести корректировку значений расчетных нагрузок на всех уровнях СЭС с учетом мощности компенсирующих устройств, установленных в данном узле нагрузки, уточненных значений потерь мощности в трансформаторах и потерь мощности в компенсирующих устройствах.

Раздел 6. Картограмма электрических нагрузок

Тема 6.1. Общие положения

Задачи, решаемые при проектировании систем промышленного электроснабжения, разнообразны по своему содержанию и по сложности. При проектировании систем электроснабжения необходимо решать задачи по определению числа и места расположения источников питания, по распределению потребителей электроэнергии по источникам питания и др. В настоящее время имеется достаточное количество материалов, позволяющих анализировать и описывать структуру распределения нагрузок и геометрию взаимного расположения потребителей и приемников электроэнергии. Первое представление о характере распределения нагрузок по территории объекта получают с помощью картограммы нагрузок.

Картограммой нагрузок называют генеральный план проектируемого объекта, на котором изображена картина распределения нагрузок потребителей электроэнергии по его подразделениям.

Картограмма нагрузок необходима для выбора рационального места размещения: ППЭ предприятия; цеховых подстанций и распределительных пунктов; источников компенсации реактивной мощности. Поэтому рекомендуется строить картограммы как активных, так и реактивных нагрузок.

Тема 6.2. Построение картограммы нагрузок

Геометрическое изображение интенсивности распределения нагрузок по подразделениям предприятия осуществляют в виде кругов, площади которых соответствуют в выбранном масштабе расчетным мощностям. При построении картограммы нагрузок центры окружностей совмещают (при отсутствии плана размещения электрооборудования по цехам) с центром тяжести геометрических фигур, изображающих отдельные подразделения (цеха) предприятия.

Площадь круга в определенном масштабе приравнивается к расчетной нагрузке P_p соответствующего цеха.

$$P_p = P_i = \pi r_i^2 m, \quad (1)$$

откуда следует, что радиус данной окружности, (мм, см)

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi m}} \quad (2)$$

где P_{pi} – расчетная мощность соответствующего цеха, кВт; m – масштаб, кВт/см² (кВт/мм²)

Для наглядности представления структуры нагрузок, окружности делят на сегменты, каждый из которых соответствует силовой нагрузке низшего напряжения и осветительной нагрузке. Угол сектора (в градусах) для осветительной нагрузки определяется по формуле:

$$\alpha_i = \frac{P_{осв.i} \cdot 360}{\pi r_i^2 m} \quad (3)$$

Силовую нагрузку цеха выше 1 кВт рекомендуется выделить отдельной окружностью (например, пунктирной линией).

Тема 6.3. Определение центра электрических нагрузок

Для определения условного центра электрических нагрузок (ЦЭН) предприятия на его генеральном плане наносят оси координат X и Y , и по известным расчетным мощностям цехов и их координатам определяют центр нагрузок предприятия в целом. Координаты ЦЭН предприятия определяются по формулам:

$$X_o = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pi} X_i}{\sum_{i=1}^n P_{pi}}, \quad Y_o = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pi} Y_i}{\sum_{i=1}^n P_{pi}}, \quad (4)$$

где X_o и Y_o - координаты ЦЭН, мм; n – число цехов; X_i , Y_i – координаты i -го цеха, мм.

УЦЭН предприятия определяет место установки ППЭ с минимальными приведенными затратами.

Однако следует отметить, что при окончательном определении места размещения ППЭ необходимо учитывать следующие факторы:

- наличие необходимой площади;
- влияние условий окружающей среды;
- наличие технологических выбросов, загрязняющих атмосферу;
- возможности ввода линии электропередач по территории предприятия для питания

ПГВ.

Допускается смещение места размещения ППЭ в сторону источника питания.

Пример построения картограммы нагрузок представлен на рисунке 6.1.

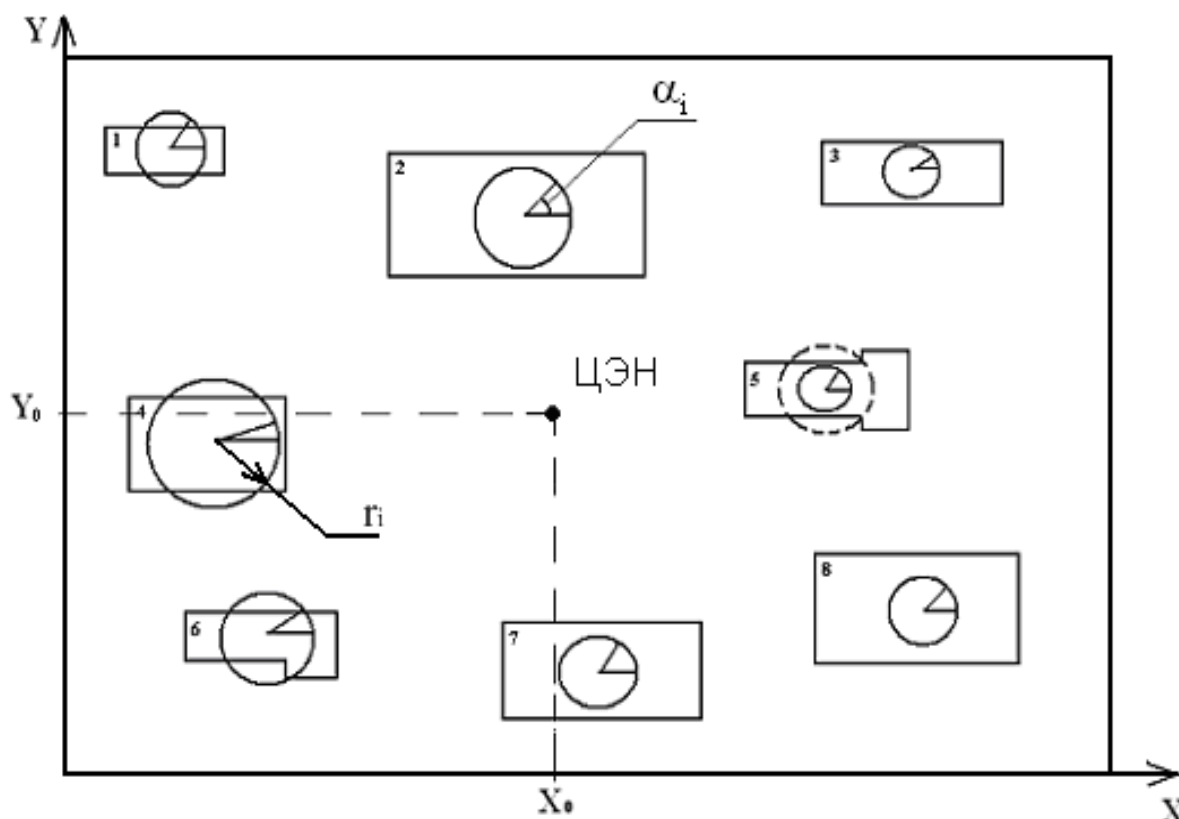


Рисунок 6.1 Пример построения картограммы электрических нагрузок предприятия

4.3. Лабораторные работы

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование лабораторной работы</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	1.	Измерение параметров установившегося режима работы разомкнутой распределительной сети.	2	Работа с малой группой (2 часа)
2	1.	Регулирование напряжения ЛЭП путем поперечной компенсации реактивной мощности	3	Работа с малой группой (3 часа)
3	1.	Регулирование напряжения ЛЭП путем компенсации индуктивного сопротивления ЛЭП	4	Работа с малой группой (4 часа)
4	1.	Снижение уровня генерации высших гармоник тока в электрических цепях	4	Работа с малой группой (4 часа)
5	1.	Компенсация высших гармоник тока с помощью фильтрокомпенсирующего устройства	4	Работа с малой группой (4 часа)
ИТОГО			17	17

4.4. Практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование практической работы</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	5.	Определение расчетных электрических нагрузок предприятия	6	5
2	5.	Выбор числа, мощности и расположения цеховых трансформаторов, трансформаторов ГПП, компенсирующих устройств	8	5
3	1.	Выбор схемы питания и расчет питающих линий	6	-
4	1.	Расчет токов короткого замыкания и проверка на термическую и динамическую устойчивость	6	-
5	1.	Расчет заземляющих устройств	4	-
6	1.	Измерение и учет электроэнергии на промышленном предприятии	4	-
ИТОГО			34	10

4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект

Цель: формирование навыков проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий.

Примерная структура:

Введение

1. Исходные данные к проекту.
 2. Технология производства и режимы электроприемников.
 3. Расчет электрических нагрузок завода.
 4. Выбор числа, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций и компенсирующих устройств.
 5. Выбор схемы питания подстанций и расчет питающих ли-ний.
 6. Расчет токов короткого замыкания и проверка на устойчивость токам короткого замыкания основного электрооборудования.
 7. Заземление ГПП (ГРП) или цеховой ТП.
 8. Измерение и учет электроэнергии.
 9. Основные технико-экономические показатели.
- Заключение.

Основная тематика: Разработка схемы электроснабжения промышленного предприятия.

Примерные варианты названия курсового проекта:

- Разработка схемы электроснабжения промышленного предприятия;
- Проектирование системы электроснабжения промышленного предприятия;
- Разработка системы электроснабжения предприятия;
- Проектирование системы электроснабжения предприятия;

Точные структура и название курсового проекта определяются в ходе выдачи задания на курсовое проектирование.

Рекомендуемый объем: 40-50 страниц машинописного текста.

Выдача задания и сдача обучающимся курсового проекта осуществляется в соответствии с календарным учебным графиком.

Оценка	Критерии оценки курсового проекта.
отлично	Полный ответ на вопросы курсового проекта и дополнительные вопросы (формулы, схемы).
хорошо	Достаточно полный ответ на вопросы курсового проекта с помощью наводящих вопросов.
удовлетворительно	Общее понимание сути расчетов, но не полные ответы
неудовлетворительно	Отсутствие понимания материала курсового проектов

5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<i>Компетенции</i> <i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>							<i>Σ комп.</i>	<i>t_{ср}, час</i>	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>	
		<i>ОПК</i>	<i>ПК</i>										
		<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1. Общая характеристика систем электроснабжения объектов	55	+	+	+	+	+	+	+	+	7	7,9	Лк, Лр, ПЗ, СРС	Экзамен, КП
2. Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии	18	+	+	+	+	+	+	+	+	7	2,6	Лк, СРС	Экзамен
3. Графики электрических нагрузок	18	+	+	+	+	+	+	+	+	7	2,6	Лк, СРС	Экзамен
4. Основные характеристики электрических нагрузок	18	+	+	+	+	+	+	+	+	7	2,6	Лк, СРС	Экзамен
5. Методы определения расчетных электрических нагрузок	32	+	+	+	+	+	+	+	+	7	4,6	Лк, Лр, ПЗ, СРС	Экзамен, КП
6. Картограмма электрических нагрузок	12	+	+	+	+	+	+	+	+	7	1,7	Лк, СРС	Экзамен
Всего часов	153	21,86	21,86	21,86	21,86	21,86	21,86	21,86	21,86	7	21,86		

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Шлейников, В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия : учебное пособие / В.Б. Шлейников ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет», Кафедра электроснабжения промышленных предприятий. - Оренбург : ОГУ, 2012. - 110 с. : табл., ил. - Библиогр.: с. 72-74. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=270272>.
2. Абрамова, Е. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий : учебное пособие / Е. Абрамова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет». - Оренбург : ОГУ, 2012. - 106 с. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259181>.
3. Гужов, Н.П. Системы электроснабжения : учебник / Н.П. Гужов, В.Я. Ольховский, Д.А. Павлюченко. - Новосибирск : НГТУ, 2015. - 262 с. : схем., табл., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2734-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438343>.
4. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов вузов. – М.: Интернет инженеринг, 2006. – 672 с., ил.
5. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. - Москва : Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование издания	Вид занятия	Количество экземпляров в библиотеке, шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
1	2	3	4	5
Основная литература				
1.	Шлейников, В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия : учебное пособие / В.Б. Шлейников ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет», Кафедра электроснабжения промышленных предприятий. - Оренбург : ОГУ, 2012. - 110 с. : табл., ил. - Библиогр.: с. 72-74. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=270272	Лк, ПЗ, ЛР СР	ЭР	1
2.	Абрамова, Е. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий : учебное пособие / Е. Абрамова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное	Лк СР	ЭР	1

	образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет». - Оренбург : ОГУ, 2012. - 106 с. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259181			
3.	Гужов, Н.П. Системы электроснабжения : учебник / Н.П. Гужов, В.Я. Ольховский, Д.А. Павлюченко. - Новосибирск : НГТУ, 2015. - 262 с. : схем., табл., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2734-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438343	Лк СР	ЭР	1
4.	Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий : учеб. для вузов / Б. И. Кудрин. - Москва : Энергоатомиздат, 1995. - 413 с.	Лк СР	47	1
5.	Федоров, А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий : учебник для вузов / А. А. Федоров, В. В. Каменева. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергоатомиздат, 1979. - 408 с.	Лк СР	56	1
6.	Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. - Москва : Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.	Лк, КП СР	62	1
7.	Князевский, Б. А. Электроснабжение промышленных предприятий : учебник для вузов / Б. А. Князевский, Б. Ю. Липкин. - Москва : Высшая школа, 1979. - 510 с.	Лк СР	92	1
Дополнительная литература				
8.	Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов вузов. – М.: Интернет инженеринг, 2006. – 672 с., ил.	Лк, ПЗ СР	30	1
9.	Борбат, В.С. Электроснабжение промышленных предприятий. Разработка схемы электроснабжения промышленных предприятий : учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию / В. С. Борбат. - Братск : БрГУ, 2005. - 123 с. - Б. ц	ПЗ КП СР	82	1
10.	Карпова, Н.А. Электроснабжение промышленных предприятий: методические указания к лабораторным работам / Н.А. Карпова, М.А. Федорова. – Братск: БрГУ, 2003.-64с.	ЛР СР	99	1
11.	Карпова, Н. А. Системы электроснабжения : методические указания к выполнению лабораторных работ / Н. А. Карпова. - Братск : БрГУ, 2014. - 46 с.	ЛР СР	51	1

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ
http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=.
2. Электронная библиотека БрГУ

<http://ecat.brstu.ru/catalog> .

3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»

<http://biblioclub.ru> .

4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань»

<http://e.lanbook.com> .

5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"

<http://window.edu.ru> .

6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .

7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)

<https://uisrussia.msu.ru/> .

8. Национальная электронная библиотека НЭБ

<http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ / практических работ

Лабораторная работа №1

Измерение параметров установившегося режима работы разомкнутой распределительной сети.

Цель работы:

определение параметров установившегося режима работы разомкнутой распределительной сети путем измерения

Задание:

1. Используя лабораторный стенд, провести измерения параметров режима работы разомкнутой электрической сети.
2. Рассчитать перетоки полной мощности.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Собрать схемы на лабораторном стенде.
3. Измерить параметры режимов работы разомкнутой электрической сети.
4. Проанализировать полученные результаты.

Форма отчетности:

В отчет по лабораторной работе вносится:

цель работы; принципиальная схема исследуемой сети; перечень аппаратуры, используемой в эксперименте; схема электрических соединений; таблица с результатами измерений и расчета; выводы по работе.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе:

При подготовке к лабораторной работе и для её выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. - Москва : Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.

Дополнительная литература

1. Карпова, Н. А. Системы электроснабжения : методические указания к выполнению лабораторных работ / Н. А. Карпова. - Братск : БрГУ, 2014. - 46 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое установившийся режим работы электрической сети?
2. Классификация электрических сетей.
3. Исходные данные для расчета режима электрической сети.

Лабораторная работа №2 **Регулирование напряжения ЛЭП путем поперечной компенсации реактивной мощности**

Цель работы:

исследование влияния компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторной батареи на параметры установившегося режима ЛЭП.

Задание:

1. Используя лабораторный стенд, выполнить регулирование напряжения ЛЭП путем поперечной компенсации реактивной мощности.
2. Рассчитать потоки полной мощности до и после компенсации.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Собрать схемы на лабораторном стенде.
3. Измерить параметры режимов работы ЛЭП.
4. Проанализировать полученные результаты.

Форма отчетности:

В отчет по лабораторной работе вносится:

цель работы; принципиальная схема исследуемой сети; перечень аппаратуры, используемой в эксперименте; схема электрических соединений; таблица с результатами измерений и расчета; выводы по работе.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе:

При подготовке к лабораторной работе и для её выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. - Москва : Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.

Дополнительная литература

1. Карпова, Н. А. Системы электроснабжения : методические указания к выполнению лабораторных работ / Н. А. Карпова. - Братск : БрГУ, 2014. - 46 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое поперечная компенсация?
2. Какие аппараты используются для компенсации реактивной мощности?
3. Классификация конденсаторных установок.

Лабораторная работа №3 **Регулирование напряжения ЛЭП путем продольной компенсации индуктивного сопротивления ЛЭП**

Цель работы:

исследование компенсации индуктивного сопротивления ЛЭП с помощью продольной компенсации.

Задание:

1. Используя лабораторный стенд, выполнить регулирование напряжения ЛЭП путем продольной компенсации индуктивного сопротивления ЛЭП.

2. Рассчитать перетоки полной мощности до и после компенсации.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Собрать схемы на лабораторном стенде.
3. Измерить параметры режимов работы ЛЭП.
4. Проанализировать полученные результаты.

Форма отчетности:

В отчет по лабораторной работе вносится:

цель работы; принципиальная схема исследуемой сети; перечень аппаратуры, используемой в эксперименте; схема электрических соединений; таблица с результатами измерений и расчета; выводы по работе.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе:

При подготовке к лабораторной работе и для её выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. - Москва : Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.

Дополнительная литература

1. Карпова, Н. А. Системы электроснабжения : методические указания к выполнению лабораторных работ / Н. А. Карпова. - Братск : БрГУ, 2014. - 46 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое продольная компенсация индуктивного сопротивления ЛЭП?
2. Какие аппараты используются для компенсации индуктивного сопротивления ЛЭП?
2. Классификация конденсаторных установок.

Лабораторная работа №4

Снижение уровня генерации высших гармоник тока в электрических цепях

Цель работы:

изучение метода снижения уровня генерации высших гармоник тока путем замены однополупериодного выпрямителя на двухполупериодный в схеме питания нагрузки постоянным током.

Задание:

1. Используя лабораторный стенд, оценить влияние однополупериодной и двухполупериодной схемы выпрямления на уровень несинусоидальности напряжения в электрической сети.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Собрать схемы на лабораторном стенде.
3. Измерить параметры режимов работы ЛЭП.
4. Проанализировать полученные результаты.

Форма отчетности:

В отчет по лабораторной работе вносится:

цель работы; принципиальная схема исследуемой сети; перечень аппаратуры, используемой в эксперименте; схема электрических соединений; таблица с результатами

измерений и расчета; выводы по работе.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе:

При подготовке к лабораторной работе и для её выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. - Москва : Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.

Дополнительная литература

1. Карпова, Н. А. Системы электроснабжения : методические указания к выполнению лабораторных работ / Н. А. Карпова. - Братск : БрГУ, 2014. - 46 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Принцип работы однополупериодного выпрямителя.
2. Принцип работы двухполупериодного выпрямителя.
3. Влияние схемы выпрямления на состав высших гармоник в электрической сети.

Лабораторная работа №5

Компенсация высших гармоник тока с помощью фильтрокомпенсирующего устройства

Цель работы:

изучение метода компенсации высших гармоник тока с помощью фильтрокомпенсирующего устройства

Задание:

Используя лабораторный стенд, оценить влияние фильтрокомпенсирующего устройства на уровень гармоник тока.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Собрать схемы на лабораторном стенде.
3. Измерить параметры электрической сети.
4. Проанализировать полученные результаты.

Форма отчетности:

В отчет по лабораторной работе вносится:

цель работы; принципиальная схема исследуемой сети; перечень аппаратуры, используемой в эксперименте; схема электрических соединений; таблица с результатами измерений и расчета; выводы по работе.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе:

При подготовке к лабораторной работе и для её выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. - Москва : Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.

Дополнительная литература

1. Карпова, Н. А. Системы электроснабжения : методические указания к выполнению лабораторных работ / Н. А. Карпова. - Братск : БрГУ, 2014. - 46 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Принцип работы фильтрокомпенсирующего устройства.
2. Источники высших гармоник.

Практическое занятие №1

Определение расчетных электрических нагрузок предприятия

Цель работы:

Расчет электрических нагрузок промышленного предприятия.

Задание:

Произвести расчет электрических нагрузок промышленного предприятия.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Выбрать исходные данные для расчета.
3. Заполнить таблицу с результатами расчета.

Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Теоретические сведения о методах расчета электрических нагрузок;
2. Заполненная таблица с результатами расчета электрических нагрузок предприятия.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. - Москва : Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.

Дополнительная литература

2. Электроснабжение промышленных предприятий. Разработка схемы электроснабжения промышленных предприятий : учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию / В. С. Борбат. - Братск : БрГУ, 2005. - 123 с. - Б. ц
3. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов вузов. – М.: Интернет инжиниринг, 2006. – 672 с., ил.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. методы расчета электрических нагрузок предприятия.

Практическое занятие №2

Выбор числа, мощности и расположения цеховых трансформаторов, трансформаторов ГПП, компенсирующих устройств

Цель работы:

Выбрать число, мощность и места установки цеховых трансформаторов, трансформаторов ГПП, компенсирующих устройств.

Задание:

Произвести выбор числа, мощности и места установки цеховых трансформаторов, трансформаторов ГПП, компенсирующих устройств.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Произвести выбор числа, мощности и места установки цеховых трансформаторов, трансформаторов ГПП, компенсирующих устройств

Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

Теоретические сведения о выборе числа, мощности и места установки цеховых трансформаторов, трансформаторов ГПП, компенсирующих устройств.

Результаты проведенной работы.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. - Москва : Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.

Дополнительная литература

2. Электроснабжение промышленных предприятий. Разработка схемы электроснабжения промышленных предприятий : учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию / В. С. Борбат. - Братск : БрГУ, 2005. - 123 с. - Б. ц
4. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов вузов. – М.: Интернет инжиниринг, 2006. – 672 с., ил.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Выбор числа, мощности силовых трансформаторов.
2. Определение места установки цеховых трансформаторов, трансформаторов ГПП, компенсирующих устройств.

Практическое занятие №3

Выбор схемы питания и расчет питающих линий

Цель работы:

Выбрать схему питания и рассчитать питающие линии для предложенного предприятия.

Задание:

Произвести выбор схемы питания и рассчитать питающие линии для предложенного предприятия

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Произвести выбор схемы питания и рассчитать питающие линии для предложенного предприятия

Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

Теоретические сведения о выборе схемы питания и рассчитать питающие линии для предложенного предприятия

Результаты проведенной работы..

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. - Москва : Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.

Дополнительная литература

2. Электроснабжение промышленных предприятий. Разработка схемы электроснабжения промышленных предприятий : учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию / В. С. Борбат. - Братск : БрГУ, 2005. - 123 с. - Б. ц
3. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов вузов. – М.: Интернет инжиниринг, 2006. – 672 с., ил.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Выбор схемы питания промышленного предприятия.
2. Расчет питающих линий.

Практическое занятие №4

Расчет токов короткого замыкания и проверка на термическую и динамическую устойчивость

Цель работы:

Выполнить расчет токов короткого замыкания и проверку на термическую и динамическую устойчивость

Задание:

Произвести расчет токов короткого замыкания и проверку на термическую и динамическую устойчивость для предложенного промышленного предприятия.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Произвести выбор схемы питания и рассчитать питающие линии для предложенного предприятия

Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

Теоретические сведения о расчете токов короткого замыкания и проверке на термическую и динамическую устойчивость.

Результаты проведенной работы.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. - Москва : Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.

Дополнительная литература

2. Электроснабжение промышленных предприятий. Разработка схемы электроснабжения промышленных предприятий : учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию / В. С. Борбат. - Братск : БрГУ, 2005. - 123 с. - Б. ц
3. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов вузов. – М.: Интернет инжиниринг, 2006. – 672 с., ил.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Методы расчета токов КЗ.
2. Действие токов КЗ на проводники электрического тока.

Практическое занятие №5

Расчет заземляющих устройств

Цель работы:

Выполнить расчет заземляющих устройств.

Задание:

Произвести расчет заземляющих устройств.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Произвести расчет заземляющих устройств.

Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:
Теоретические сведения о расчет заземляющих устройств.
Результаты проведенной работы.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. - Москва : Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.

Дополнительная литература

2. Электроснабжение промышленных предприятий. Разработка схемы электроснабжения промышленных предприятий : учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию / В. С. Борбат. - Братск : БрГУ, 2005. - 123 с. - Б. ц
3. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов вузов. – М.: Интернет инженеринг, 2006. – 672 с., ил.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Последовательность расчета заземляющих устройств.

Практическое занятие №6

Измерение и учет электроэнергии на промышленном предприятии

Цель работы:

Выполнить разработку схемы учета электроэнергии

Задание:

Произвести разработку схемы учета электроэнергии для предложенного промышленного предприятия.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Произвести разработку схемы учета электроэнергии

Форма отчетности.

В отчет по практическому занятию вносится:
Теоретические сведения о схемах учета электрической энергии.
Результаты проведенной работы.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. - Москва : Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.

Дополнительная литература

2. Электроснабжение промышленных предприятий. Разработка схемы электроснабжения промышленных предприятий : учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию / В. С. Борбат. - Братск : БрГУ, 2005. - 123 с. - Б. ц
3. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов вузов. – М.: Интернет инженеринг, 2006. – 672 с., ил.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Классификация схем учета электрической энергии.
2. Коммерческий и технический учеты электроэнергии.

9.2. Методические указания по выполнению курсового проекта

Курсовой проект должен быть оформлен в виде сброшюрованной расчетно-пояснительной записки и чертежей согласно заданию на проект.

Все чертежи и схемы выполняются согласно установленным Единой системой конструкторской документации (ЕСКД), условным графическим обозначениям.

В пояснительной записке объясняется ход решения рассматриваемых вопросов с указанием применяемых методов расчета, формул, ссылок на литературу и обоснованием принятых решений.

Результаты расчетов сводятся в таблицы и графики: при рассмотрении какого-либо вопроса должен быть дан подробный пример расчета, а для остальных аналогичных случаев результаты расчетов сводятся в таблицу.

Пояснительная записка оформляется в соответствии с правилами оформления учебной документации и должна иметь нумерацию глав, параграфов, таблиц, рисунков и список использованной литературы.

Объем расчетно-пояснительной записки примерно 40–50 рукописных листов. Во введении дается обоснование актуальности решаемых в курсовом проекте задач; приводится краткий перечень основных вопросов, рассматриваемых в проекте, а также способы и методы их решения; излагаются полученные результаты с доказательством их правильности. В заключение приводятся технико-экономические показатели, полученные в проекте. Введение (его объем составляет 1–3 рукописных страницы), как и заключение, лучше выполнять после основных расчетов по проекту.

Исходными данными для проектирования электрических сетей предприятия являются: генеральный план предприятия, установленная мощность цехов, нагрузка поселков городского типа, характеристики источников питания. В контрольные задания входят тринадцать различных предприятий с различной мощностью и разными источниками электроэнергии (всего семьдесят восемь вариантов). Каждый студент выполняет вариант, указанный преподавателем при выдаче задания на курсовой проект. Исходные данные приведены в приложениях, а графики электропотребления по различным отраслям промышленности и методика их обработки для получения необходимой информации.

Методика выполнения курсового проекта и варианты заданий к нему приведены в следующей литературе:

1. Электроснабжение промышленных предприятий. Разработка схемы электроснабжения промышленных предприятий : учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию / В. С. Борбат. - Братск : БрГУ, 2005. - 123 с. - Б. ц

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

- ОС Windows 7 Professional
- Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level
- Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security.

**11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ
ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

<i>Вид занятия (Лк, ЛР, ПЗ, КП, СР)</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ЛР, ПЗ</i>
1	2	3	4
ЛР	Лаборатория электроснабжения	Учебный лабораторный стенд (-модель электрической сети -исследование качества электроэнергии)	№ 1-5
ПЗ	Лаборатория электроснабжения	-	№ 1-6
КП	Читальный зал №3	Оборудование 15- CPU 5000/RAM 2Gb/HDD (Монитор TFT 19 LG 1953S-SF);принтер HP LaserJet P3005	-
СР	Читальный зал №3	Оборудование 15- CPU 5000/RAM 2Gb/HDD (Монитор TFT 19 LG 1953S-SF);принтер HP LaserJet P3005	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
1	2	3	4	5
ОПК-2	способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	1. Общая характеристика систем электроснабжения объектов	1.1. Характеристика системы электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.1)
			1.2. Упрощенная структура систем электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.2)
			1.3. Основные требования, предъявляемые к СЭС	Вопрос к экзамену (1.3)
			1.4. Проектирование систем электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.4)
		2. Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии	2.1. Классификация и характеристика электроустановок	Вопрос к экзамену (2.1)
			2.2. Классификация приемников электрической энергии	Вопрос к экзамену (2.2)
			2.3. Характеристика приемников электрической энергии	Вопрос к экзамену (2.3)
		3. Графики электрических нагрузок	3.1. Краткая характеристика графиков нагрузок	Вопрос к экзамену (3.1)
			3.2. Графики индивидуальных приемников	Вопрос к экзамену (3.2)
			3.3. Групповые графики электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (3.3)
			3.4. Годовые графики нагрузок	Вопрос к экзамену (3.4)
			3.5. Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок	Вопрос к экзамену (3.5)
		4. Основные характеристики электрических нагрузок	4.1. Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники	Вопрос к экзамену (4.1)
			4.2. Показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников	Вопрос к экзамену (4.2)
		5. Методы определения расчетных электрических нагрузок	5.1. Основные методы расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.1)
			5.2. Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.2)
			5.3. Расчетные нагрузки однофазных электроприемников	Вопрос к экзамену (5.3)
			5.4. Определение пиковых нагрузок	Вопрос к экзамену (5.4)
			5.5. Расчетные нагрузки осветительных электроустановок	Вопрос к экзамену (5.5)
			5.6. Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.6)
			5.7. Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС	Вопрос к экзамену (5.7)
		6. Картограмма нагрузок	6.1. Построение картограммы нагрузок	Вопрос к экзамену (6.1)
			6.2. Определение центра электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (6.2)
ПК-1	способность участвовать в	1. Общая характеристика	1.1. Характеристика системы электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.1)

	планировании, подготовке и выполнении типовых экспериментальных исследований по заданной методике	систем электроснабжения объектов	1.2. Упрощенная структура систем электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.2)		
			1.3. Основные требования, предъявляемые к СЭС	Вопрос к экзамену (1.3)		
			1.4. Проектирование систем электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.4)		
		2. Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии	2.1. Классификация и характеристика электроустановок	Вопрос к экзамену (2.1)		
			2.2. Классификация приемников электрической энергии	Вопрос к экзамену (2.2)		
			2.3. Характеристика приемников электрической энергии	Вопрос к экзамену (2.3)		
		3. Графики электрических нагрузок	3.1. Краткая характеристика графиков нагрузок	Вопрос к экзамену (3.1)		
			3.2. Графики индивидуальных приемников	Вопрос к экзамену (3.2)		
			3.3. Групповые графики электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (3.3)		
			3.4. Годовые графики нагрузок	Вопрос к экзамену (3.4)		
			3.5. Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок	Вопрос к экзамену (3.5)		
		4. Основные характеристики электрических нагрузок	4.1. Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники	Вопрос к экзамену (4.1)		
			4.2. Показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников	Вопрос к экзамену (4.2)		
		5. Методы определения расчетных электрических нагрузок	5.1. Основные методы расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.1)		
			5.2. Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.2)		
			5.3. Расчетные нагрузки однофазных электроприемников	Вопрос к экзамену (5.3)		
			5.4. Определение пиковых нагрузок	Вопрос к экзамену (5.4)		
			5.5. Расчетные нагрузки осветительных электроустановок	Вопрос к экзамену (5.5)		
			5.6. Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.6)		
			5.7. Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС	Вопрос к экзамену (5.7)		
		6. Картограмма нагрузок	6.1. Построение картограммы нагрузок	Вопрос к экзамену (6.1)		
			6.2. Определение центра электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (6.2)		
		ПК-2	способность обрабатывать результаты эксперимента	1. Общая характеристика систем электроснабжения объектов	1.1. Характеристика системы электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.1)
					1.2. Упрощенная структура систем электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.2)
					1.3. Основные требования, предъявляемые к СЭС	Вопрос к экзамену (1.3)
					1.4. Проектирование систем электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.4)
2. Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии	2.1. Классификация и характеристика электроустановок			Вопрос к экзамену (2.1)		
	2.2. Классификация приемников электрической энергии			Вопрос к экзамену (2.2)		
	2.3. Характеристика приемников электрической энергии			Вопрос к экзамену (2.3)		

		3. Графики электрических нагрузок	3.1. Краткая характеристика графиков нагрузок	Вопрос к экзамену (3.1)		
			3.2. Графики нагрузок индивидуальных приемников	Вопрос к экзамену (3.2)		
			3.3. Групповые графики электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (3.3)		
			3.4. Годовые графики нагрузок	Вопрос к экзамену (3.4)		
			3.5. Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок	Вопрос к экзамену (3.5)		
		4. Основные характеристики электрических нагрузок	4.1. Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники	Вопрос к экзамену (4.1)		
			4.2. Показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников	Вопрос к экзамену (4.2)		
		5. Методы определения расчетных электрических нагрузок	5.1. Основные методы расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.1)		
			5.2. Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.2)		
			5.3. Расчетные нагрузки однофазных электроприемников	Вопрос к экзамену (5.3)		
			5.4. Определение пиковых нагрузок	Вопрос к экзамену (5.4)		
			5.5. Расчетные нагрузки осветительных электроустановок	Вопрос к экзамену (5.5)		
			5.6. Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.6)		
			5.7. Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС	Вопрос к экзамену (5.7)		
		6. Картограмма нагрузок	6.1. Построение картограммы нагрузок	Вопрос к экзамену (6.1)		
			6.2. Определение центра электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (6.2)		
		ПК-3	способность принимать участие в проектировании объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования	1. Общая характеристика систем электроснабжения объектов	1.1. Характеристика системы электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.1)
					1.2. Упрощенная структура систем электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.2)
					1.3. Основные требования, предъявляемые к СЭС	Вопрос к экзамену (1.3)
					1.4. Проектирование систем электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.4)
2. Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии	2.1. Классификация и характеристика электроустановок			Вопрос к экзамену (2.1)		
	2.2. Классификация приемников электрической энергии			Вопрос к экзамену (2.2)		
	2.3. Характеристика приемников электрической энергии			Вопрос к экзамену (2.3)		
3. Графики электрических нагрузок	3.1. Краткая характеристика графиков нагрузок			Вопрос к экзамену (3.1)		
	3.2. Графики нагрузок индивидуальных приемников			Вопрос к экзамену (3.2)		
	3.3. Групповые графики электрических нагрузок			Вопрос к экзамену (3.3)		
	3.4. Годовые графики нагрузок			Вопрос к экзамену (3.4)		
	3.5. Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок			Вопрос к экзамену (3.5)		
4. Основные характеристики электрических нагрузок	4.1. Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники			Вопрос к экзамену (4.1)		
	4.2. Показатели нагрузок,			Вопрос к экзамену		

			характеризующие группу электроприемников	(4.2)
		5. Методы определения расчетных электрических нагрузок	5.1. Основные методы расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.1)
			5.2. Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.2)
			5.3. Расчетные нагрузки однофазных электроприемников	Вопрос к экзамену (5.3)
			5.4. Определение пиковых нагрузок	Вопрос к экзамену (5.4)
			5.5. Расчетные нагрузки осветительных электроустановок	Вопрос к экзамену (5.5)
			5.6. Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.6)
			5.7. Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС	Вопрос к экзамену (5.7)
		6. Картограмма нагрузок	6.1. Построение картограммы нагрузок	Вопрос к экзамену (6.1)
			6.2. Определение центра электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (6.2)
<i>ПК-4</i>	способность обоснование проектных решений	1. Общая характеристика систем электроснабжения объектов	1.1. Характеристика системы электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.1)
			1.2. Упрощенная структура систем электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.2)
			1.3. Основные требования, предъявляемые к СЭС	Вопрос к экзамену (1.3)
			1.4. Проектирование систем электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.4)
		2. Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии	2.1. Классификация и характеристика электроустановок	Вопрос к экзамену (2.1)
			2.2. Классификация приемников электрической энергии	Вопрос к экзамену (2.2)
			2.3. Характеристика приемников электрической энергии	Вопрос к экзамену (2.3)
		3. Графики электрических нагрузок	3.1. Краткая характеристика графиков нагрузок	Вопрос к экзамену (3.1)
			3.2. Графики нагрузок индивидуальных приемников	Вопрос к экзамену (3.2)
			3.3. Групповые графики электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (3.3)
			3.4. Годовые графики нагрузок	Вопрос к экзамену (3.4)
			3.5. Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок	Вопрос к экзамену (3.5)
		4. Основные характеристики электрических нагрузок	4.1. Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники	Вопрос к экзамену (4.1)
			4.2. Показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников	Вопрос к экзамену (4.2)
		5. Методы определения расчетных электрических нагрузок	5.1. Основные методы расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.1)
			5.2. Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.2)
			5.3. Расчетные нагрузки однофазных электроприемников	Вопрос к экзамену (5.3)
			5.4. Определение пиковых нагрузок	Вопрос к экзамену (5.4)
			5.5. Расчетные нагрузки осветительных электроустановок	Вопрос к экзамену (5.5)
			5.6. Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.6)

			5.7. Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС	Вопрос к экзамену (5.7)
		6. Картограмма нагрузок	6.1. Построение картограммы нагрузок	Вопрос к экзамену (6.1)
			6.2. Определение центра электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (6.2)
ПК-5	готовность определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности	1. Общая характеристика систем электроснабжения объектов	1.1. Характеристика системы электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.1)
			1.2. Упрощенная структура систем электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.2)
			1.3. Основные требования, предъявляемые к СЭС	Вопрос к экзамену (1.3)
			1.4. Проектирование систем электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.4)
		2. Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии	2.1. Классификация и характеристика электроустановок	Вопрос к экзамену (2.1)
			2.2. Классификация приемников электрической энергии	Вопрос к экзамену (2.2)
			2.3. Характеристика приемников электрической энергии	Вопрос к экзамену (2.3)
		3. Графики электрических нагрузок	3.1. Краткая характеристика графиков нагрузок	Вопрос к экзамену (3.1)
			3.2. Графики индивидуальных приемников	Вопрос к экзамену (3.2)
			3.3. Групповые графики электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (3.3)
			3.4. Годовые графики нагрузок	Вопрос к экзамену (3.4)
			3.5. Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок	Вопрос к экзамену (3.5)
		4. Основные характеристики электрических нагрузок	4.1. Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники	Вопрос к экзамену (4.1)
			4.2. Показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников	Вопрос к экзамену (4.2)
		5. Методы определения расчетных электрических нагрузок	5.1. Основные методы расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.1)
			5.2. Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.2)
			5.3. Расчетные нагрузки однофазных электроприемников	Вопрос к экзамену (5.3)
			5.4. Определение пиковых нагрузок	Вопрос к экзамену (5.4)
			5.5. Расчетные нагрузки осветительных электроустановок	Вопрос к экзамену (5.5)
			5.6. Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.6)
			5.7. Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС	Вопрос к экзамену (5.7)
		6. Картограмма нагрузок	6.1. Построение картограммы нагрузок	Вопрос к экзамену (6.1)
			6.2. Определение центра электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (6.2)
		ПК-6	способность рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности	1. Общая характеристика систем электроснабжения объектов
1.2. Упрощенная структура систем электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.2)			
1.3. Основные требования, предъявляемые к СЭС	Вопрос к экзамену (1.3)			
1.4. Проектирование систем электроснабжения	Вопрос к экзамену (1.4)			
2. Классификация и характеристики	2.1. Классификация и характеристика электроустановок			Вопрос к экзамену (2.1)

		электроустановок и приемников электрической энергии	2.2. Классификация приемников электрической энергии	Вопрос к экзамену (2.2)
			2.3. Характеристика приемников электрической энергии	Вопрос к экзамену (2.3)
		3. Графики электрических нагрузок	3.1. Краткая характеристика графиков нагрузок	Вопрос к экзамену (3.1)
			3.2. Графики нагрузок индивидуальных приемников	Вопрос к экзамену (3.2)
			3.3. Групповые графики электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (3.3)
			3.4. Годовые графики нагрузок	Вопрос к экзамену (3.4)
			3.5. Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок	Вопрос к экзамену (3.5)
		4. Основные характеристики электрических нагрузок	4.1. Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники	Вопрос к экзамену (4.1)
			4.2. Показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников	Вопрос к экзамену (4.2)
		5. Методы определения расчетных электрических нагрузок	5.1. Основные методы расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.1)
			5.2. Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.2)
			5.3. Расчетные нагрузки однофазных электроприемников	Вопрос к экзамену (5.3)
			5.4. Определение пиковых нагрузок	Вопрос к экзамену (5.4)
			5.5. Расчетные нагрузки осветительных электроустановок	Вопрос к экзамену (5.5)
			5.6. Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (5.6)
			5.7. Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС	Вопрос к экзамену (5.7)
		6. Картограмма нагрузок	6.1. Построение картограммы нагрузок	Вопрос к экзамену (6.1)
6.2. Определение центра электрических нагрузок	Вопрос к экзамену (6.2)			

2. Экзаменационные вопросы

№ п/п	Компетенции		ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1.	ОПК-2	способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	1.1. Характеристика системы электроснабжения	1. Общая характеристика систем электроснабжения объектов
			1.2. Упрощенная структура систем электроснабжения	
			1.3. Основные требования, предъявляемые к СЭС	2. Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии
			1.4. Проектирование систем электроснабжения	
			2.1. Классификация и характеристика электроустановок	3. Графики электрических нагрузок
			2.2. Классификация приемников электрической энергии.	
			2.3. Характеристика приемников электрической энергии	
			3.1. Краткая характеристика графиков нагрузок	
			3.2. Графики нагрузок индивидуальных приемников	
			3.3. Групповые графики электрических	

			нагрузок 3.4. Годовые графики нагрузок 3.5. Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок	
			4.1. Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники 4.2. Показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников	4. Основные характеристики электрических нагрузок
			5.1. Методы определения расчетных электрических нагрузок 5.2. Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок 5.3. Расчетные нагрузки однофазных электроприемников 5.4. Определение пиковых нагрузок 5.5. Расчетные нагрузки осветительных электроустановок 5.6. Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок 5.7. Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС	5. Методы определения расчетных электрических нагрузок
			6.1. Построение картограммы нагрузок 6.2. Определение центра электрических нагрузок	6. Картограмма электрических нагрузок
2.	ПК-1	способность участвовать в планировании, подготовке и выполнении типовых экспериментальных исследований по заданной методике	1.1. Характеристика системы электроснабжения 1.2. Упрощенная структура систем электроснабжения 1.3. Основные требования, предъявляемые к СЭС 1.4. Проектирование систем электроснабжения	1. Общая характеристика систем электроснабжения объектов
			2.1. Классификация и характеристика электроустановок 2.2. Классификация приемников электрической энергии. 2.3. Характеристика приемников электрической энергии	2. Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии
			3.1. Краткая характеристика графиков нагрузок 3.2. Графики нагрузок индивидуальных приемников 3.3. Групповые графики электрических нагрузок 3.4. Годовые графики нагрузок 3.5. Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок	3. Графики электрических нагрузок
			4.1. Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники 4.2. Показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников	4. Основные характеристики электрических нагрузок
			5.1. Методы определения расчетных электрических нагрузок 5.2. Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок 5.3. Расчетные нагрузки однофазных электроприемников 5.4. Определение пиковых нагрузок 5.5. Расчетные нагрузки осветительных электроустановок 5.6. Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок 5.7. Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС	5. Методы определения расчетных электрических нагрузок
			6.1. Построение картограммы нагрузок 6.2. Определение центра электрических нагрузок	6. Картограмма электрических нагрузок

3.	ПК-2	способность обрабатывать результаты эксперимента	1.1. Характеристика системы электроснабжения	1. Общая характеристика систем электроснабжения объектов
			1.2. Упрощенная структура систем электроснабжения	
			1.3. Основные требования, предъявляемые к СЭС	
			1.4. Проектирование систем электроснабжения	
			2.1. Классификация и характеристика электроустановок	2. Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии.
			2.2. Классификация приемников электрической энергии.	
2.3. Характеристика приемников электрической энергии				
3.1. Краткая характеристика графиков нагрузок	3. Графики электрических нагрузок			
3.2. Графики нагрузок индивидуальных приемников				
3.3. Групповые графики электрических нагрузок				
3.4. Годовые графики нагрузок				
3.5. Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок				
4.1. Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники	4. Основные характеристики электрических нагрузок			
4.2. Показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников				
5.1. Методы определения расчетных электрических нагрузок	5. Методы определения расчетных электрических нагрузок			
5.2. Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок				
5.3. Расчетные нагрузки однофазных электроприемников				
5.4. Определение пиковых нагрузок				
5.5. Расчетные нагрузки осветительных электроустановок				
5.6. Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок				
5.7. Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС				
6.1. Построение картограммы нагрузок	6. Картограмма электрических нагрузок			
6.2. Определение центра электрических нагрузок				
4.	ПК-3	способность принимать участие в проектировании объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования	1.1. Характеристика системы электроснабжения	1. Общая характеристика систем электроснабжения объектов
			1.2. Упрощенная структура систем электроснабжения	
			1.3. Основные требования, предъявляемые к СЭС	
			1.4. Проектирование систем электроснабжения	
			2.1. Классификация и характеристика электроустановок	2. Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии.
			2.2. Классификация приемников электрической энергии.	
2.3. Характеристика приемников электрической энергии				
3.1. Краткая характеристика графиков нагрузок	3. Графики электрических нагрузок			
3.2. Графики нагрузок индивидуальных приемников				
3.3. Групповые графики электрических нагрузок				
3.4. Годовые графики нагрузок				
3.5. Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок				
4.1. Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники	4. Основные характеристики электрических			
4.2. Показатели нагрузок, характеризующие				

			группу электроприемников	нагрузок
			5.1. Методы определения расчетных электрических нагрузок 5.2. Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок 5.3. Расчетные нагрузки однофазных электроприемников 5.4. Определение пиковых нагрузок 5.5. Расчетные нагрузки осветительных электроустановок 5.6. Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок 5.7. Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС	5. Методы определения расчетных электрических нагрузок
			6.1. Построение картограммы нагрузок 6.2. Определение центра электрических нагрузок	6. Картограмма электрических нагрузок
5.	ПК-4	способность обосновать решения проводить проектных	1.1. Характеристика системы электроснабжения 1.2. Упрощенная структура систем электроснабжения 1.3. Основные требования, предъявляемые к СЭС 1.4. Проектирование систем электроснабжения	1. Общая характеристика систем электроснабжения объектов
			2.1. Классификация и характеристика электроустановок 2.2. Классификация приемников электрической энергии. 2.3. Характеристика приемников электрической энергии	2. Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии
			3.1. Краткая характеристика графиков нагрузок 3.2. Графики нагрузок индивидуальных приемников 3.3. Групповые графики электрических нагрузок 3.4. Годовые графики нагрузок 3.5. Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок	3. Графики электрических нагрузок
			4.1. Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники 4.2. Показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников	4. Основные характеристики электрических нагрузок
			5.1. Методы определения расчетных электрических нагрузок 5.2. Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок 5.3. Расчетные нагрузки однофазных электроприемников 5.4. Определение пиковых нагрузок 5.5. Расчетные нагрузки осветительных электроустановок 5.6. Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок 5.7. Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС	5. Методы определения расчетных электрических нагрузок
			6.1. Построение картограммы нагрузок 6.2. Определение центра электрических нагрузок	6. Картограмма электрических нагрузок
			1.1. Характеристика системы электроснабжения 1.2. Упрощенная структура систем электроснабжения 1.3. Основные требования, предъявляемые к СЭС 1.4. Проектирование систем электроснабжения	1. Общая характеристика систем электроснабжения объектов
			6. ПК-5	готовность определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности

			<p>2.1. Классификация и характеристика электроустановок</p> <p>2.2. Классификация приемников электрической энергии.</p> <p>2.3. Характеристика приемников электрической энергии</p>	<p>2. Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии</p>
			<p>3.1. Краткая характеристика графиков нагрузок</p> <p>3.2. Графики нагрузок индивидуальных приемников</p> <p>3.3. Групповые графики электрических нагрузок</p> <p>3.4. Годовые графики нагрузок</p> <p>3.5. Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок</p>	<p>3. Графики электрических нагрузок</p>
			<p>4.1. Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники</p> <p>4.2. Показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников</p>	<p>4. Основные характеристики электрических нагрузок</p>
			<p>5.1. Методы определения расчетных электрических нагрузок</p> <p>5.2. Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок</p> <p>5.3. Расчетные нагрузки однофазных электроприемников</p> <p>5.4. Определение пиковых нагрузок</p> <p>5.5. Расчетные нагрузки осветительных электроустановок</p> <p>5.6. Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок</p> <p>5.7. Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС</p>	<p>5. Методы определения расчетных электрических нагрузок</p>
			<p>6.1. Построение картограммы нагрузок</p> <p>6.2. Определение центра электрических нагрузок</p>	<p>6. Картограмма электрических нагрузок</p>
	ПК-6	способность рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности	<p>1.1. Характеристика системы электроснабжения</p> <p>1.2. Упрощенная структура систем электроснабжения</p> <p>1.3. Основные требования, предъявляемые к СЭС</p> <p>1.4. Проектирование систем электроснабжения</p>	<p>1. Общая характеристика систем электроснабжения объектов</p>
<p>2.1. Классификация и характеристика электроустановок</p> <p>2.2. Классификация приемников электрической энергии.</p> <p>2.3. Характеристика приемников электрической энергии</p>			<p>2. Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии</p>	
<p>3.1. Краткая характеристика графиков нагрузок</p> <p>3.2. Графики нагрузок индивидуальных приемников</p> <p>3.3. Групповые графики электрических нагрузок</p> <p>3.4. Годовые графики нагрузок</p> <p>3.5. Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок</p>			<p>3. Графики электрических нагрузок</p>	
<p>4.1. Показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники</p> <p>4.2. Показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников</p>			<p>4. Основные характеристики электрических нагрузок</p>	
<p>5.1. Методы определения расчетных электрических нагрузок</p> <p>5.2. Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок</p> <p>5.3. Расчетные нагрузки однофазных электроприемников</p>			<p>5. Методы определения расчетных электрических нагрузок</p>	

		<p>5.4. Определение пиковых нагрузок</p> <p>5.5. Расчетные нагрузки осветительных электроустановок</p> <p>5.6. Рекомендации по выбору метода расчета электрических нагрузок</p> <p>5.7. Расчет электрических нагрузок на различных уровнях СЭС</p>	
		<p>6.1. Построение картограммы нагрузок</p> <p>6.2. Определение центра электрических нагрузок</p>	6. Картограмма электрических нагрузок

3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>знать: (ОПК-2)</p> <p>- методы расчёта систем электроснабжения. (ПК-1)</p> <p>- методы проведения экспериментальных исследований в электроснабжении (ПК-2)</p> <p>- методы обработки экспериментальных данных в электроснабжении (ПК-3)</p> <p>- структуру и параметры систем электроснабжения (ПК-4)</p> <p>- методы технико-экономического сравнения в электроснабжении (ПК-5)</p> <p>- основные параметры оборудования систем электроснабжения (ПК-6)</p> <p>- методы расчета режимов работы систем электроснабжения</p> <p>уметь: (ОПК-2)</p> <p>- выполнять расчёты в области электроснабжения (ПК-1)</p> <p>- проводить экспериментальные исследования по заданной методике (ПК-2)</p> <p>- проводить анализ экспериментальных данных (ПК-3)</p> <p>- разрабатывать и оформлять чертежно-техническую документацию и пояснительные записки в соответствии с требованиями. (ПК-4)</p> <p>- выполнять технико-экономическое сравнение вариантов (ПК-5)</p> <p>- осуществлять выбор оборудования</p>	отлично	<p>Обучающийся глубоко и прочно усвоил программный материал и демонстрирует:</p> <p>- всестороннее знание программного материала;</p> <p>- умение правильного применения основных положений программного материала;</p> <p>- владеет всеми навыками, полученными в ходе изучения программного материала.</p>
	хорошо	<p>Обучающийся демонстрирует:</p> <p>-недостаточно полное знание программного материала;</p> <p>- применение с несущественными ошибками основных положений программного материала.</p>
	удовлетворительно	<p>Обучающийся демонстрирует частичное знание программного материала и допускает ошибки в ответе.</p>
	неудовлетворительно	<p>Обучающийся допустил существенные ошибки при ответе на вопросы, на дополнительные вопросы давал неправильные ответы; все вышеуказанные разделы не усвоены.</p>

<p>систем электроснабжения (ПК-6)</p> <ul style="list-style-type: none"> - определять параметры режимов работы систем электроснабжения <p>владеть:</p> <p>(ОПК-2)</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками расчёта систем электроснабжения <p>(ПК-1)</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками планирования к подготовке и выполнению типовых исследований по заданной методике <p>(ПК-2)</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками обработки экспериментальных данных <p>(ПК-3)</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками проектирования схем электроснабжения <p>(ПК-4)</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками осуществления технико-экономического сравнения вариантов <p>(ПК-5)</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками выбора оборудования систем электроснабжения <p>(ПК-6)</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками расчета режимов работы систем электроснабжения 		
---	--	--

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина Электроснабжение направлена на изучение вопросов проектирования систем электроснабжения.

Изучение дисциплины Электроснабжение включает в себя следующие виды занятий:

- лекции,
- практические занятия,
- лабораторные работы,
- курсовой проект,
- самостоятельную работу,
- экзамен.

В ходе освоения раздела 1 «Общая характеристика систем электроснабжения объектов» студенты должны уяснить:

- характеристики системы электроснабжения;
- упрощенную структуру системы электроснабжения;
- основные требования, предъявляемые к СЭС.

В ходе освоения раздела 2 «Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии» студенты должны уяснить: классификацию приемников электрической энергии.

В ходе освоения раздела 3 «графики электрических нагрузок» студенты должны уяснить:

- классификацию графиков электрических нагрузок;
- коэффициенты, характеризующие графики нагрузок.

В ходе освоения раздела 4 «Основные характеристики электрических нагрузок» студенты должны уяснить:

- показатели нагрузок, характеризующие индивидуальные электроприемники;
- показатели нагрузок, характеризующие группу электроприемников.

В ходе освоения раздела 5 «методы определения расчетных нагрузок» студенты должны уяснить:

- основные методы расчета нагрузок;
- вспомогательные методы.

В ходе освоения раздела 6 «Картограмма нагрузок» студенты должны уяснить:

- правила составления картограммы нагрузок.

В процессе изучения дисциплины рекомендуется особо обратить внимание на раздел 5.

При подготовке к экзамену рекомендуется особое внимание уделить следующим вопросам: основные требования к защитам от КЗ; характеристика измерительной и оперативной частей схемы релейной защиты; способы включения реле на ток и напряжение сети; способы воздействия реле на выключатель; характеристика источников постоянного и переменного оперативного тока; типы магнитных систем электромагнитных реле; основные свойства и характеристики электромагнитных реле; особенности конструкции поляризованного реле; принцип действия электроиндукционного реле, область применения; конструкция и принцип действия магнитоэлектрических реле; принцип действия токовых защит; мгновенные токовые отсечки, расчет параметров, схемы; разделам 5,6.

В процессе проведения практических занятий и лабораторных работ происходит закрепление практических навыков исследования и моделирования систем электроснабжения.

Самостоятельную работу необходимо начинать с изучения теоретического материала по рекомендации преподавателя.

В процессе консультации с преподавателем необходимо выяснить все непонятные моменты.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературы.

АННОТАЦИЯ рабочей программы дисциплины

Электроснабжение

1. Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является формирование знаний о создании и режимах работы систем электроснабжения промышленных предприятий.

Задачи дисциплины:

- изучение характеристик приёмников электрической энергии;
- освоение методов расчёта электрических нагрузок;
- определение показателей качества электрической энергии;
- изучение методов экономии электроэнергии в элементах систем электроснабжения

2. Структура дисциплины

2.1 Общая трудоемкость дисциплины составляет 180 часа, 5 зачетных единиц.

2.2 Основные разделы дисциплины:

1. Общая характеристика систем электроснабжения объектов
2. Классификация и характеристики электроустановок и приемников электрической энергии
3. Графики электрических нагрузок
4. Основные характеристики электрических нагрузок
5. Методы определения расчетных электрических нагрузок
6. Картограмма электрических нагрузок

3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- ОПК-2 - способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач;
- ПК-1 - способность участвовать в планировании, подготовке и выполнении типовых экспериментальных исследований по заданной методике;
- ПК-2 - способность обрабатывать результаты эксперимента;
- ПК-3 - способность принимать участие в проектировании объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования
- ПК-4 - способность проводить обоснование проектных решений
- ПК-5 - готовность определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности
- ПК-6 - способность рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности

4. Вид промежуточной аттестации: КП, экзамен

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе
на 20__-20__ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

Протокол заседания кафедры № _____ от «___» _____ 20__ г.,
(разработчик)

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

(Ф.И.О.)

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (уровень бакалавриата) от «3» сентября 2015 г. №955

для набора 2014 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «3» июля 2018г. №413

для набора 2015 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» ноября 2015г. №701, заочной формы обучения от «12» ноября 2015г. №701

для набора 2016 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «6» июня 2016г. №429, заочной формы обучения от «6» июня 2016г. №429 для заочной (ускоренное обучение) формы обучения от «6» июня 2016г. №429

для набора 2017 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «6» марта 2017г. №125 , заочной формы обучения от «6» марта 2017г. №125 для заочной (ускоренное обучение) формы обучения от «4» апреля 2017г. №203

для набора 2018 года и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» марта 2018г. №130, заочной формы обучения от «12» марта 2018г. №130

Программу составил:

Струмеляк А.В., доцент каф. ЭиЭ, к.т.н. _____

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры ЭиЭ

от «__» __декабря__ 2018 г., протокол №_____

Заведующий кафедрой ЭиЭ _____

Булатов Ю.Н.

СОГЛАСОВАНО:

Директор библиотеки _____

Т.Ф. Сотник

Рабочая программа одобрена методической комиссией факультета Энергетики и автоматики

от «__» __декабря__ 2018 г., протокол №_____

Председатель методической комиссии факультета _____

Ульянов А.Д.

СОГЛАСОВАНО:

Начальник
учебно-методического управления _____

Г.П. Нежевец

Регистрационный №_____