

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Электроснабжение»

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Рабочая программа, методические указания  
и контрольное задание для студентов направления  
1-27 01 01-10 «Экономика и организация производства  
(энергетика)»

Минск  
БНТУ  
2010

УДК 621.311.1(075.8)

ББК 31.279.1я7

Э 45

С о с т а в и т е л и:

*В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская*

Р е ц е н з е н т ы:

*В.А. Булат, М.И. Фурсанов*

В издании приводится рабочая программа дисциплины «Электроснабжение» для студентов направления 1-27 01 01-10 «Экономика и организация производства (энергетика)». По каждому разделу даются методические рекомендации, которые могут быть полезными при изучении дисциплины, и указывается учебная литература. Описывается содержание контрольной работы с необходимыми методическими указаниями по ее выполнению.

## Предисловие

Рабочая программа, методические указания и контрольное задание по дисциплине «Электроснабжение» для студентов направления 1-27 01 01-10 «Экономика и организация производства (энергетика)» составлены в соответствии с учебной программой № УД-ЭФ40-15/баз, утвержденной 08.04.2010 г.

Необходимым условием нормальной работы любого производственного объекта, жизни и деятельности городских и сельских жителей является надежное, экономичное и безопасное электроснабжение потребителей электроэнергии. Электроснабжение является одной из основных инфраструктур на любом промышленном или коммунально-бытовом объекте. Эффективное использование электроэнергии в процессе промышленного производства возможно только при обеспечении нормальной работы системы электроснабжения. Поэтому владение вопросами дисциплины «Электроснабжение» имеет большое значение для формирования специалиста в области организации и экономики энергетики. Полученные знания в области электроснабжения будут востребованы в производственной, проектной, научной и инновационной деятельности. Изучение данной дисциплины является важным звеном подготовки студентов.

Целью изучения дисциплины «Электроснабжение» является приобретение знаний и умений, необходимых для эффективного использования систем электроснабжения и электрооборудования промышленных предприятий. Это будет способствовать повышению уровня подготовки студентов в области организации обеспечения электроэнергией и управления системами электроснабжения промышленных предприятий.

Задачами дисциплины являются изучение структуры электрического хозяйства, схем и конструктивного исполнения систем электроснабжения, выявление основных требований потребителей к системе электроснабжения и условий подачи электроэнергии при определенных ее параметрах энергоснабжающей организацией, ознакомление с инновационными техноло-

гиями в электроснабжении, а также освоение основных вопросов проектирования и эксплуатации систем электроснабжения. К таким вопросам относятся расчет электрических нагрузок, выбор коммутационных и защитных аппаратов, расчет электрических сетей, определение числа и мощности трансформаторов, компенсация реактивной мощности, учет и контроль электропотребления, расчет потерь мощности и энергии, экономия электроэнергии и др.

Для изучения дисциплины необходимо освоение высшей математики (векторный анализ, дифференциальное и интегральное исчисление, функции нескольких переменных, теория поля), физики (тепловое изучение, электрический ток), электротехники и электроники (цепи постоянного и переменного тока, трехфазная система переменного тока), электрооборудования (электрические аппараты, распределительные устройства).

В результате изучения дисциплины студент должен приобрести навыки расчетов по выбору электрооборудования систем электроснабжения промышленных объектов, а также оценки эффективности эксплуатации электрооборудования, применяемого в системах электроснабжения. Рабочая программа дисциплины состоит из введения и 9 разделов, по каждому из которых должна быть изучена рекомендуемая основная и дополнительная литература. С целью закрепления теоретических знаний выполняется контрольное задание. Для проверки усвоения изучаемого предмета предусматривается экзамен.

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАЗДЕЛАМ**

## **Введение**

Цели и задачи дисциплины. Понятие об электроснабжении и системах электроснабжения. Основные элементы системы электроснабжения. Особенности электроснабжения промышленных потребителей электроэнергии. Значимость вопросов рационального использования энергоресурсов в Республике Беларусь. Национальный подход к электроснабжению производственных предприятий. Инновационные технологии, применяемые в системах электроснабжения промышленных предприятий.

## **Методические указания**

При изучении литературы необходимо усвоить основные понятия, определения и термины, характеризующие системы электроснабжения промышленных предприятий, которые предназначены для обеспечения электрической энергией разнообразных электроприемников. Система электроснабжения должна быть экономичной, надежной, безопасной, удобной в эксплуатации, допускать изменения технологии и рост мощности предприятия, обеспечивать надлежащее качество электроэнергии в нормальных и послеаварийных режимах. Основными элементами системы электроснабжения являются трансформаторные и преобразовательные подстанции, распределительные пункты (РП), кабельные и воздушные линии, а также токопроводы различного напряжения и исполнения. Электроснабжение промышленных предприятий имеет свою специфику: электроэнергия рассматривается как один из компонентов производственного процесса, необходимо учитывать технологические особенности производств различных отраслей промышленности, применять специальные технические устройства для обеспечения функци-

онирования системы электроснабжения и т.д. Система электроснабжения может рассматриваться как подсистема технологической системы производства конкретного предприятия, которая предъявляет определенные требования к обеспечению электроэнергией. В тоже время она является и подсистемой энергосистемы, обеспечивающей комплексное электроснабжение промышленных, транспортных, коммунально-бытовых и сельскохозяйственных потребителей данного района. Системы электроснабжения должны строиться с учетом достижений научно-технического прогресса в электроэнергетике.

Литература: [4, с. 5–18, с. 24–25; 6, с. 5–15; 7, с. 6–9; 9, с. 16–20].

## **1. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ХОЗЯЙСТВО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Понятие об электрическом хозяйстве. Электрическое хозяйство как потребитель электроэнергии и электротехнических изделий. Системное описание электрического хозяйства. Основные и функционально определяемые показатели электрического хозяйства. Устойчивость электрического хозяйства промышленного предприятия как технической системы.

### **Методические указания**

*Электрическое хозяйство* – это совокупность генерирующих, преобразующих и передающих установок, посредством которых осуществляется снабжение предприятия электроэнергией и использование ее в процессе производства. Это сложная иерархическая система. Системное описание электрического хозяйства предполагает разделение его на отдельные подсистемы: электроснабжение, электропривод, силовое оборудование и автоматизация, электрическое освещение и электроремонт. Характеристику электрического хозяйства предприятия и

его количественную оценку можно дать с помощью электрических показателей, которые условно делятся на основные показатели и определяемые функционально. К основным относятся общее электропотребление, получасовой максимум активной нагрузки, коэффициент спроса, количество установленных электродвигателей, средняя мощность электродвигателя, электровооруженность труда, производительность труда электротехнического персонала. В число функционально определяемых показателей входят установленная мощность электроприемников, суммарная мощность установленных электродвигателей, годовое число часов использования максимальной нагрузки, средняя потребляемая предприятием мощность, коэффициент использования активной мощности, коэффициент максимума активной мощности, коэффициент заполнения годового графика нагрузки, коэффициент технологической нагрузки.

Электрическое хозяйство предприятий является устойчивой технической системой, что означает стабильное изменение электрических показателей во времени, которое обуславливается постоянством структуры установленного электрооборудования.

Литература: [2, с. 31–51; 4, с. 24–36].

## **2. ПРИЕМНИКИ И ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ИХ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Понятие об электроприемниках и потребителях электроэнергии. Режимы работы по нагреву: продолжительный, кратковременный и повторно-кратковременный. Номинальная (установленная) мощность электроприемников. Номинальные напряжения. Род тока. Частота тока. Категории электроприемников по надежности электроснабжения. Удельный расход электроэнергии. Стабильность расположения оборудования. Электродвигатели производственных механизмов. Силовые общепро-

мышленные установки: насосы, компрессоры, вентиляторы, подъемно-транспортные установки и поточно-транспортные системы. Преобразовательные установки. Осветительные установки. Электротехнологические установки. Коэффициенты, характеризующие режимы работы электроприемников и потребителей электроэнергии: использования, включения, загрузки, максимума и спроса.

### Методические указания

*Электроприемник* – это аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии. Потребителем электрической энергии называется электроприемник или группа электроприемников, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории. Потребителями электроэнергии являются предприятия, организации, учреждения, территориально обособленные цеха и т.п., присоединенные к электрическим сетям энергоснабжающей организации и использующие электроэнергию с помощью электроприемников.

Для электродвигателей и трансформаторов по нагреву установлено три основных режима: продолжительный ( $S1$ ), кратковременный ( $S2$ ) и повторно-кратковременный ( $S3$ ). Режим  $S3$  характеризуется величиной продолжительности включения (ПВ) в процентах или долях единицы. При продолжительности рабочего цикла более 10 мин и  $ПВ > 60\%$  режим работы считается продолжительным.

*Номинальная мощность электродвигателя* – это мощность, развиваемая им на валу при номинальном напряжении. Под номинальной мощностью других электроприемников понимается мощность, потребляемая ими из сети при номинальном напряжении. При этом паспортная мощность электроприемников режима  $S3$  приводится к номинальной длительной мощности при  $ПВ = 100\%$ .



*Номинальное напряжение* – это напряжение, на которое спроектирована сеть или оборудование и к которому относят их рабочие характеристики. Номинальное напряжение должно соответствовать действующим стандартам. Для трехфазных электрических сетей переменного тока напряжением до 1 кВ, как правило, следует принимать напряжения 230/400, 400/690 и 1000 В.

Основным током в электроустановках промышленных предприятий является переменный трехфазный ток. Электроприемники постоянного тока получают энергию от преобразователей. Стандартной частотой в странах Европы является частота 50 Гц. На промышленных предприятиях применяются электроприемники, использующие пониженную (ниже 50 Гц), повышенную среднюю (до 30 кГц) и высокую (выше 30 кГц) частоты переменного тока, получаемые от преобразователей. По надежности электроснабжения электроприемники делятся на три категории. Из состава электроприемников первой категории выделяется особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийной остановки производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования. Удельный расход электроэнергии используется в расчетах, связанных с определением электрических нагрузок и показателей электропотребления. Важной характеристикой потребителей электроэнергии является степень стабильности расположения технологического оборудования, которое в процессе эксплуатации может перемещаться по площади производственного здания или заменяться другим, более производительным. В таких случаях электрические сети должны быть приспособлены к быстрому перестроению без существенного нарушения производственного процесса.

В данном разделе необходимо также изучить основные промышленные электроприемники и коэффициенты, позволяющие представлять режимы работы приемников и потребителей электроэнергии в аналитических расчетах.

Литература: [2, с. 14–18; 3, с. 23–33; 4, с. 13–24; 6, с. 11–30, 7; с. 15–32; 8, с. 125–130; 13, с. 34–42].

### **3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ**

Графики электрических нагрузок. Показатели графиков. Максимальная, минимальная и средняя нагрузка. Расход электроэнергии за период реализации графика. Коэффициенты максимума, заполнения, формы и неравномерности графика. Коэффициент одновременности максимумов нагрузок. Индивидуальные графики электрических нагрузок: периодические, циклические, нециклические и нерегулярные. Групповые графики: суточные и годовые. Годовые графики нагрузок по месяцам и упорядоченные по продолжительности. Способы регулирования графиков нагрузок. Установленная мощность групп электроприемников. Средние, среднеквадратические, максимальные и расчетные электрические нагрузки. Вероятностный характер электрических нагрузок. Исходные данные, необходимые для расчета нагрузок. Определение группового коэффициента использования. Эффективное число электроприемников и способы его определения. Расчет электрических нагрузок групп электроприемников. Определение расчетных нагрузок на шинах до 1 кВ силовых трансформаторов, кабельных линий электропередачи напряжением 6–10 кВ, на шинах 6–10 кВ РП и понижающих подстанций. Определение нагрузок по коэффициенту спроса и установленной мощности электроприемников. Расчет нагрузок по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции. Определение электрических нагрузок по удельной мощности на единицу производственной площади. Определение пиковых нагрузок.

#### **Методические указания**

Графики нагрузок отражают изменение мощности (активной, реактивной, полной) или тока во времени. Они характеризуются коэффициентами максимума, заполнения, формы и

неравномерности. С их помощью можно определить максимальную, среднюю и среднеквадратическую нагрузку за некоторый период, расход электроэнергии и другие показатели электропотребления. Индивидуальные графики, характеризующие режим электропотребления отдельных электроприемников, делятся на периодические, циклические, нециклические и нерегулярные. Групповые графики, отражающие изменение нагрузок групп электроприемников, могут быть построены за любой период. Однако чаще всего используются суточные и годовые графики. Следует знать способы регулирования графиков потребления электроэнергии с целью их выравнивания.

Расчет нагрузок силовых электроприемников основными методами ведется с использованием средних нагрузок за наиболее загруженную смену. Среднеквадратичные нагрузки применяются при оценке потерь электроэнергии в элементах системы электроснабжения, а также при анализе графиков нагрузки. Максимальные нагрузки представляют собой наибольшие из соответствующих средних величин за некоторый промежуток времени. Различают максимальные длительные нагрузки (при интервалах осреднения, например, 10, 15, 30, 60, 120 мин) и максимальные кратковременные (пиковые) нагрузки. Расчетная нагрузка по допустимому нагреву – это такая длительная неизменная нагрузка элемента системы электроснабжения (шинопровода, линии, трансформатора и т.д.), которая эквивалентна ожидаемой изменяющейся нагрузке по наиболее тяжелому тепловому воздействию: максимальной температуре нагрева проводника или максимальному тепловому износу его изоляции.

Электрические нагрузки имеют вероятностный характер. Поэтому методы определения электрических нагрузок используют некоторые положения теории вероятностей и математической статистики. К основным методам определения расчетных нагрузок силовых электроприемников промышленных предприятий относятся: метод коэффициентов расчетных нагрузок,

коэффициента спроса и установленной мощности и статистический метод. К вспомогательным – методы удельного расхода электроэнергии на единицу продукции и удельной нагрузки на единицу производственной площади.

Расчетные нагрузки электрического освещения при выполнении светотехнического расчета определяются по коэффициенту спроса и установленной мощности. Если светотехнический расчет не выполнялся, то нагрузки освещения рассчитываются по удельной мощности на единицу производственной площади. Пиковые нагрузки необходимо уметь определять для выбора устройств защиты, расчета потерь напряжения в контактных сетях, оценке размаха изменения напряжения и т.д.

Литература: [1, с. 15–39; 2, с. 107–128; 4, с. 51–81; 6, с. 20–42; 7, с. 10–42; 11, с. 45–54, 77–90; 12, с. 68–85; 13, с. 66–90].

#### **4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАПРЯЖЕНИИ ДО 1 кВ**

Питающие и распределительные силовые сети напряжением до 1 кВ. Схемы внутрицеховых сетей напряжением до 1 кВ для питания силовых электроприемников: радиальные, магистральные, смешанные. Достоинства и недостатки схем. Области применения. Схемы осветительных электрических сетей: питающих, распределительных, групповых.

Назначение основных коммутационных и защитных аппаратов напряжением до 1 кВ: рубильников, разъединителей, пакетных выключателей, контакторов, магнитных пускателей, автоматических выключателей, плавких предохранителей. Электрические схемы контакторов и магнитных пускателей. Распределительные устройства напряжением до 1 кВ: силовые ящики, распределительные панели, щиты, шкафы, пункты.

Классификация электрических сетей до 1 кВ по конструктивному исполнению. Шинопроводы: магистральные, распределительные, троллейные и осветительные. Кабельные линии: откры-

тые, скрытые, в кабельных сооружениях. Электропроводки: открытые и скрытые. Факторы, влияющие на выбор конструктивного исполнения сети. Марки проводов и кабелей, применяемых в сетях до 1 кВ. Минимальные сечения фазных проводников.

Электроустановки напряжением до 1 кВ с глухозаземленной и изолированной нейтралью. Системы заземления типа *TN-C*, *TN-S*, *TN-C-S*, *TT* и *IT*, их достоинства и недостатки, области применения. Выбор сечений нулевых защитных и рабочих проводников.

### Методические указания

Электрические сети могут быть построены по радиальным, магистральным или смешанным схемам. Основными электрическими аппаратами в электроустановках напряжением до 1 кВ являются рубильники, пакетные выключатели и переключатели, контакторы, магнитные пускатели, автоматические выключатели и плавкие предохранители. С помощью автоматических выключателей и предохранителей осуществляется защита электрооборудования и электрических сетей от сверхтоков. В качестве распределительных устройств в электроустановках до 1 кВ применяются распределительные панели, силовые распределительные шкафы, щитки и т.д.

Электрические сети внутри помещений выполняются в виде шинпроводов (магистральных, распределительных, троллейных и осветительных), кабельных линий и электропроводок. В электропроводках используются установочные изолированные провода с защитными оболочками (защищенные) и без оболочек (незащищенные), а также небронированные силовые кабели с резиновой или пластмассовой изоляцией, в любых оболочках, с площадью сечения фазной жилы не более 16 мм<sup>2</sup>. Кабели, не соответствующие выше приведенным требованиям, относятся к кабельным линиям. Минимальное сечение фазных проводников в электрических сетях напряжением до 1 кВ составляет 2,5 мм<sup>2</sup> для алюминия и 1,5 мм<sup>2</sup> для ме-

ди. В электроустановках зданий, как правило, должны применяться системы заземления типа *TN-S* и *TN-C-S*.

Литература: [1, с. 182–192; 2, с. 267–281; 4, с. 82–107; 6, с. 42–49; 9, с. 170–234; 11, с. 163–181; 12, с. 45–66; 13, с. 42–65].

## **5. ВЫБОР ЗАЩИТНЫХ АППАРАТОВ И СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ ЦЕХОВЫХ СЕТЕЙ**

Причины появления сверхтоков в электрических сетях напряжением до 1 кВ. Короткие замыкания в сетях напряжением до 1 кВ. Принципы построения защиты электроприемников и электрических сетей от токов длительной перегрузки и короткого замыкания.

Выбор плавких предохранителей. Защитные времятоковые характеристики автоматических выключателей с тепловым, электромагнитным, комбинированным и полупроводниковым расцепителями. Выбор автоматических выключателей. Обеспечение избирательности защиты.

Нормированные температуры окружающей среды и длительно допустимые температуры проводников. Допустимые длительные токи. Выбор сечений проводников по условию нагрева длительным током нагрузки. Проверка выбранного сечения по условию соответствия аппарату максимальной токовой защиты. Проверка кабелей напряжением до 1 кВ по термической стойкости.

Отклонение напряжения. Потеря напряжения. Определение потерь напряжения в электрических сетях напряжением до 1 кВ. Расчет допустимой потери напряжения в электрической сети. Выбор сечений проводников по допустимой потере напряжения. Расчет осветительных электрических сетей.

### **Методические указания**

*Сверхток* – это ток, значение которого превосходит наибольшее рабочее значение тока электроустановки. При выборе устройств защиты от сверхтоков для предохранителей

определяется номинальный ток плавкой вставки, а для автоматических выключателей – номинальный ток расцепителя и ток уставки срабатывания расцепителя при коротком замыкании.

Сечения проводников любых сетей выбираются по допустимому нагреву. Выбранное сечение должно соответствовать аппарату максимальной токовой защиты. Сечения проводников осветительных сетей выбираются также по допустимой потере напряжения. Силовые сети рассчитываются по потере напряжения, если в здании нет трансформаторной подстанции. В электроустановках зданий потеря напряжения не должна превышать 4 % от номинального напряжения сети. Сечения проводников силовых сетей напряжением до 1 кВ, кроме ответвлений к электроприемникам, при времени использования максимальной нагрузки более 5000 ч в год проверяются также по экономической плотности тока.

Кабели с пластмассовой изоляцией жил необходимо проверять по термической стойкости.

Литература: [1, с. 192–223; 2, с. 337–342; 4, с. 108–140; 6, с. 50–80; 11, с. 181–210; 12, 113–123; 13, с. 90–125].

## **6. КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ**

Понятие о компенсации реактивной мощности. Обеспечение баланса реактивных мощностей. Снижение потерь мощности и напряжения в системе электроснабжения при компенсации реактивной мощности.

Потребители реактивной мощности: асинхронные электродвигатели, силовые трансформаторы и реакторы, электропечные, сварочные, преобразовательные и осветительные установки. Источники реактивной мощности: синхронные генераторы, двигатели и компенсаторы, статистические источники реактивной мощности.

Определение мощности батарей конденсаторов. Оценка целесообразности использования высоковольтных синхронных электродвигателей для компенсации реактивной мощности. Расчет экономического значения реактивной мощности, потребляемой предприятием из сети энергосистемы. Размещение конденсаторных установок.

### **Методические указания**

Основными потребителями реактивной мощности являются асинхронные электродвигатели и силовые трансформаторы. Для баланса реактивной мощности в энергосистеме в узлах нагрузки необходимы компенсирующие устройства. *Компенсация реактивной мощности* – это установка местных источников реактивной мощности. Благодаря этому уменьшаются потери мощности, энергии и напряжения в элементах системы электроснабжения, а также повышается пропускная способность линий и трансформаторов по активной мощности. На промышленных предприятиях в качестве средств компенсации реактивной мощности в основном применяются батареи статических конденсаторов и высоковольтные синхронные электродвигатели, работающие в режиме перевозбуждения. Оптимальная мощность компенсирующих устройств определяется на основе технико-экономических расчетов по условию минимума приведенных затрат на выработку и передачу реактивной мощности по энергосистеме в целом. Компенсирующие устройства выбираются с учетом их технико-экономических показателей, режимов работы потребителей электроэнергии и регулирования напряжения, качества электроэнергии, устойчивости нагрузки, условий окружающей среды и т.д. При нормальной среде конденсаторные установки до 1 кВ могут устанавливаться непосредственно в производственных помещениях и подключаться к магистральным шинпроводам. Если условия среды неблагоприятные, то их рекомендуется размещать в помещениях трансформаторных подстанций и в



других электропомещениях. Установки высоковольтных конденсаторов располагаются в специальных помещениях, а также в электромашиных помещениях и подстанциях.

Литература: [2, с. 411–430; 4, с. 233–270; 6, с. 289–324; 8, с. 174–192; 11, с. 115–135; 12, с. 124–141; 13, с. 244–254].

## **7. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАПРЯЖЕНИИ ВЫШЕ 1 КВ**

Классификация промышленных предприятий по установленной мощности электроприемников. Принципы построения схем распределения электроэнергии на напряжении выше 1 кВ. Системы внешнего и внутриводского электроснабжения. Источники питания электроэнергией.

Структурные схемы трансформаторных подстанций. Главные понизительные подстанции (ГПП) промышленных объектов. Цеховые трансформаторные подстанции: электрические схемы и компоновки. Распределительные пункты (РП) напряжением 6–10 кВ. Типы и конструктивное исполнение силовых трансформаторов. Области применения масляных и сухих трансформаторов. Перегрузочная способность трансформаторов. Выбор числа и мощности трансформаторов систем электроснабжения промышленных объектов.

Внешнее электроснабжение при питании предприятий от энергосистемы: с применением РП и ГПП. Глубокие вводы. Питание промышленного предприятия от энергосистемы и от собственной электростанции. Типовые схемы внутриводского электроснабжения: радиального, магистрального и смешанного питания. Выбор схем электроснабжения промышленных предприятий.

Марки и конструкции кабелей напряжением 6–10 кВ. Кабели с бумажной пропитанной изоляцией. Одножильные и трехжильные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена. Достоинства и недостатки кабелей с бумажной и пластмассовой изо-

ляцией. Способы прокладки кабелей. Выбор сечения жил кабелей напряжением 6–10 кВ по экономическим соображениям, допустимому нагреву и термической стойкости. Области применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. Расположение одножильных кабелей при прокладке и влияние на технические характеристики кабелей. Способы заземления электромагнитных экранов кабелей. Выбор сечения экрана и токопроводящих жил кабеля по термической стойкости.

### **Методические указания**

При построении схем электроснабжения руководствуются следующими основными принципами: максимальное приближение источников высокого напряжения к электроустановкам потребителей; глубокое секционирование схемы; отказ от «холодного» резерва; выбор режима работы линий и трансформаторов. Электроснабжение предприятий может осуществляться от энергосистем и собственных электростанций. Питание от энергосистемы выполняется по схемам с применением РП или ГПП. При передаваемой мощности 40 МВ·А и более могут применяться глубокие вводы на напряжении 35–220 кВ. На предприятиях широко используются комплектные одно- и двухтрансформаторные подстанции без сборных шин на первичном напряжении. По компоновке цеховые подстанции могут быть внутрицеховыми, встроенными, пристроенными и отдельно стоящими. Главные понизительные подстанции и РП служат для приема и распределения электроэнергии на напряжении 6–10 кВ. Обычно применяются ГПП с двумя трансформаторами и с простейшими схемами распределительных устройств (РУ) на напряжении 35–220 кВ. На промышленных предприятиях, как правило, применяются силовые масляные трансформаторы. При необходимости обеспечения полной эко-логической и пожарной безопасности, а также в местах с повышенными требованиями к охране окружающей

среды применяются сухие трансформаторы. Число и мощность трансформаторов цеховых подстанций взаимно связаны между собой. Выбор цеховых трансформаторов осуществляется совместно с расчетом компенсации реактивной мощности. При этом следует ограничивать число типоразмеров трансформаторов на одном предприятии.

Распределительные пункты 6–10 кВ проектируются с использованием комплектных РУ. Целесообразность применения РП определяется на основе технико-экономического расчета. Как правило, используются двухсекционные РП. Распределительные пункты рекомендуется размещать в отдельных помещениях внутри зданий или пристраивать к ним. Распределение электроэнергии на предприятии может выполняться по радиальной, магистральной или смешанной схеме в зависимости от территориального размещения нагрузок, требуемой надежности питания и других особенностей проектируемого объекта. В системах электроснабжения предприятий применяются трехжильные и одножильные кабели с бумажной пропитанной изоляцией, а также с изоляцией из сшитого (вулканизированного) полиэтилена. Кабели могут прокладываться открыто, скрыто и в кабельных сооружениях.

Сечения проводников электрических сетей напряжением до 220 кВ должны быть проверены по экономической плотности тока. Проводники любого назначения должны удовлетворять требованиям предельно допустимого нагрева с учетом не только нормальных, но и послеаварийных и ремонтных режимов. По режиму КЗ в электроустановках выше 1 кВ должны проверяться электрические аппараты, кабели, токопроводы и другие проводники, а также опорные и несущие конструкции для них.

Литература: [1, с. 145–169; 2, с. 179–208, 212–220, 251–267; 4, с. 141–202; 8, с. 93–118; 9, с. 262–268; 11, с. 230–236; 12, с. 209–230; 13, с. 136–163].

## **8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

## **НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Тарифы на электроэнергию для промышленных объектов. Расчетный и технический учет электроэнергии. Приборы и системы учета и контроля электропотребления. Автоматизация учета электроэнергии. Определение расхода электроэнергии силовыми и осветительными электроприемниками расчетным путем. Расчет потерь мощности и электроэнергии в элементах систем электроснабжения.

### **Методические указания**

На промышленных предприятиях осуществляется расчетный и технический учет электроэнергии. Расчетный учет осуществляется для денежных расчетов за выработанную и отпущенную потребителям электроэнергию, технический – для контроля расхода электроэнергии внутри электростанций, подстанций, предприятий и т.д. Счетчики для расчета электроснабжающей организации с потребителями электроэнергии рекомендуется устанавливать на границе раздела электрических сетей энергосистемы и потребителя (по балансовой принадлежности). Счетчики активной и реактивной электрической энергии следует устанавливать для потребителей электроэнергии с присоединенной мощностью 250 кВ·А и выше, а также с разрешенной к использованию активной мощностью 100 кВт и выше. Расчетный и технический учет реактивной электроэнергии в электроустановках должен производиться в рамках автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) с использованием в точках учета электронных счетчиков совместного учета активной и реактивной энергии.

Необходимо знать, как определяется расход электроэнергии расчетным путем, а также потери мощности и электроэнергии в линиях электропередачи и силовых трансформаторах. Расчет нагрузочных потерь электроэнергии может произ-

водиться методом графического интегрирования, по максимальной нагрузке и времени максимальных потерь, по средне-квадратической нагрузке и времени работы элемента системы электроснабжения с нагрузкой.

Литература: [2, с. 540–572; 4, с. 282–297; 6, с. 33–34; 11, с. 45–54, 105–114, 243–244].

## **9. РАЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

Расходные характеристики промышленных электроприемников: вогнутые, выпуклые, прямолинейный, аномальные. Использование расходных характеристик при планировании режимов работы электрооборудования. Способы построения расходных характеристик. Снижение потерь мощности и энергии в элементах системы электроснабжения. Рациональные режимы работы силовых трансформаторов. Основы рационального использования промышленных электроприемников. Экономия электроэнергии в силовых, электротехнологических и осветительных установках. Применение энергоэффективных электроприемников и приборов. Технико-экономическая оценка внедрения энергоэффективных мероприятий.

### **Методические указания**

Расходные энергетические характеристики отражают зависимость потребляемой мощности, абсолютного или удельного расхода электроэнергии от выпуска продукции за календарный промежуток времени или от часовой производительности агрегата, участка, цеха или предприятия. По потребляемой мощности различают следующие основные формы энергетических расходных характеристик: вогнутая, выпуклая, прямолинейная и аномальная. Подавляющее большинство производственного оборудования в зоне рабочих нагрузок имеет практически прямолинейные расходные характеристики. Энергетические расход-

ные характеристики используются для установления оптимальных технологических параметров оборудования, при нормировании расходов электроэнергии и выявлении потенциала энергосбережения на промышленных предприятиях.

Экономия электроэнергии на промышленных предприятиях может быть достигнута путем рационального ее потребления электроприемниками (электродвигателями, электротехнологическими установками, световыми приборами и т.д.), а также за счет снижения потерь электроэнергии в элементах системы электроснабжения (трансформаторах, линиях электропередачи, реакторах и т.д.).

Литература: [2, с. 540–572; 4, с. 271–282, 304–305; 6, с. 381–391; 11, с. 240–257].

## **КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ**

В механическом цехе промышленного предприятия установлены электроприемники, основные сведения о которых приведены в таблице. Электроприемники питаются от цеховой комплектной трансформаторной подстанции (ТП) напряжением 10/0,4 кВ.

Число рабочих смен для нечетных вариантов следует принять 2, для четных – со 2-го по 14-й – 1, а с 20-го по 30-й – 3.

Номер варианта задается преподавателем.

В работе необходимо выполнить следующее.

1. Определить расчетные электрические нагрузки на шинах до 1 кВ ТП цеха.

2. Выбрать тип и номинальную мощность цехового трансформатора. При этом для нечетных вариантов принять трансформаторы с масляным охлаждением, а для четных – сухие.

3. Определить мощность батарей низковольтных конденсаторов (БНК) и выбрать тип комплектной конденсаторной установки.

4. Рассчитать потери мощности и годовые потери активной электроэнергии в трансформаторе.

5. Определить годовой расход электроэнергии отдельными группами электроприемников и цехом в целом.

6. Построить энергетическую диаграмму годового расхода активной электроэнергии для цеха.

7. Определить основные показатели электрического хозяйства цеха.

Таблица

Число и мощность (шт. × кВт) электроприемников цеха

№ варианта	Металло-режущие станки	Вентиляторы	Крановые установки	Печи сопротивления	Осветительные установки, кВт
1	2	3	4	5	6
1	65 × 3 60 × 7,5 40 × 11	8 × 11	4 × 7,5	3 × 303	36
2	30 × 2,2 60 × 3 55 × 5,5	8 × 15	6 × 7,5 6 × 11	4 × 80 2 × 150	45
3	60 × 3 55 × 7,5	6 × 7,5	6 × 2,2 6 × 5 4 × 15	4 × 150	48
4	40 × 4 30 × 15 25 × 18,5	10 × 5,5	8 × 3,5 4 × 7,5	8 × 120	44
5	25 × 4 40 × 15 25 × 18,5	10 × 11	6 × 2,2 6 × 7,5 4 × 15	4 × 150 2 × 170	50
6	50 × 3 60 × 4 70 × 5,5	12 × 4	8 × 7,5 4 × 22	4 × 157 4 × 102	38
7	16 × 2,2 65 × 55 30 × 11	10 × 7,5	6 × 3,5 4 × 7,5	10 × 80	40

8	25 × 3 40 × 5,5 60 × 7,5	10 × 7,5	8 × 5 4 × 11	4 × 192	42
9	15 × 3 65 × 4 50 × 7,5	8 × 15	8 × 3,5 4 × 7,5	2 × 510 2 × 430	30
10	30 × 4 45 × 5,5 65 × 7,5	10 × 15	8 × 22 4 × 5	2 × 400 2 × 340	37

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
11	25 × 3 40 × 5,5 65 × 11	8 × 11	6 × 3,5 6 × 11	10 × 102	43
12	25 × 4 35 × 7,5 50 × 11	12 × 5,5	8 × 5 4 × 15	8 × 150	35
13	30 × 2,2 50 × 5,5 60 × 7,5	6 × 15	6 × 3,5 4 × 7,5	3 × 400 2 × 340	46
14	25 × 3 55 × 7,5 40 × 15	8 × 7,5	8 × 2,2 6 × 5	10 × 95	33
15	80 × 40 70 × 5,5 10 × 18,5	12 × 7,5	9 × 3,5 5 × 7,5	8 × 150	41
16	65 × 3 75 × 5,5 30 × 7,5	6 × 11	6 × 3,5 4 × 7,5	2 × 430 3 × 224	47
17	32 × 3 64 × 5,5 40 × 11	8 × 5,5	6 × 2,2 4 × 5	6 × 150 4 × 120	52
18	26 × 5,5 40 × 7,5 27 × 15	4 × 18,5	6 × 3,5 4 × 11	2 × 340 4 × 170	53
19	15 × 3 32 × 4 40 × 5,5	10 × 11	8 × 2,2 6 × 5	2 × 303 2 × 192	42
20	30 × 2,2 40 × 3	6 × 15	6 × 3,5 4 × 7,5	8 × 150	55



	50 × 5,5				
21	20 × 3 28 × 4 45 × 7,5	12 × 11	6 × 3,5 10 × 7,5	8 × 120	46
22	25 × 3 48 × 5,5 60 × 7,5	9 × 7,5	8 × 5 4 × 11	8 × 170	40
23	18 × 5,5 35 × 7,5 26 × 11	6 × 18,5	6 × 3,5 6 × 7,5	10 × 102	34

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
24	38 × 3 46 × 5,5 68 × 7,5	9 × 11	8 × 5 4 × 15	4 × 224	39
25	40 × 3 42 × 5,5 20 × 11	8 × 15	6 × 15 6 × 11	2 × 570 4 × 170	54
26	65 × 3 60 × 7,5 40 × 11	8 × 11	4 × 7,5	4 × 80 2 × 150	45
27	30 × 2,2 60 × 3 55 × 5,5	8 × 15	6 × 7,5 6 × 11	3 × 303	36
28	60 × 3 55 × 7,5	6 × 7,5	6 × 2,2 6 × 5 4 × 15	8 × 120	44
29	40 × 4 30 × 15 25 × 18,5	10 × 5,5	8 × 3,5 4 × 7,5	4 × 150	48
30	25 × 4 40 × 15 25 × 18,5	10 × 11	6 × 2,2 6 × 7,5 4 × 15	4 × 157 4 × 102	38

**Методические указания**

Расчетная силовая активная нагрузка цеха определяется по выражению

$$P_{pc} = K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{иi} \cdot P_{номi},$$

где  $K_p$  – коэффициент расчетной нагрузки;

$k_{иi}$  и  $P_{номi}$  – коэффициент использования и номинальная мощность  $i$ -го электроприемника;

$n$  – количество силовых электроприемников, установленных в цехе.

Величина  $K_p$  принимается по справочным таблицам в зависимости от среднего значения группового коэффициента использования  $K_{и}$  и эффективного числа электроприемников  $n_э$ .

Групповой коэффициент использования

$$K_{и} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{иi} \cdot P_{номi}}{\sum_{i=1}^n P_{номi}}.$$

Эффективное число электроприемников вычисляется по выражению

$$n_э = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{номi})^2}{\sum_{i=1}^n P_{номi}^2}.$$

Найденное значение  $n_э$  округляется до ближайшего меньшего целого числа.

Если величина  $P_{pc}$  окажется меньше номинальной мощности наиболее крупного электроприемника  $P_{н\ max}$ , следует принять  $P_{pc} = P_{н\ max}$ .

Расчетная силовая реактивная нагрузка цеха

$$Q_{pc} = K_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{и\ i} \cdot P_{ном\ i} \cdot \operatorname{tg}\varphi_i,$$

где  $\operatorname{tg}\varphi_i$  – среднее значение коэффициента реактивной мощности  $i$ -го электроприемника.

Расчетная активная нагрузка освещения цеха

$$P_{po} = K_{co} \cdot K_{пра} \cdot P_{ном\ o},$$

где  $K_{co}$  – коэффициент спроса для освещения,  $K_{co} = 0,95$ ;

$K_{пра}$  – коэффициент, учитывающий потери в пускорегулирующей аппаратуре газоразрядных ламп (для ламп типа ДРЛ или ДРИ  $K_{пра} = 1,1$ );

$P_{ном\ o}$  – установленная мощность осветительных приборов цеха.

Расчетная реактивная нагрузка освещения

$$Q_{po} = P_{po} \operatorname{tg}\varphi_o,$$

где  $\operatorname{tg}\varphi_o$  – среднее значение коэффициента реактивной мощности для осветительной нагрузки,  $\operatorname{tg}\varphi_o = 1,73$  (при использовании ламп типа ДРЛ или ДРИ).

Суммарная расчетная нагрузка цеха:

– активная

$$P_p = P_{pc} + P_{po};$$

– реактивная

$$Q_p = Q_{pc} + Q_{po}.$$

В цеховых ТП рекомендуется применять масляные трансформаторы (типа ТМГ, ТМГ11, ТМГ12 и т.п.) или сухие (типа ТСГЛ и т.п.).

Номинальная мощность силового трансформатора определяется по выражению

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{P_p}{\beta_T},$$

где  $\beta_T$  – коэффициент загрузки трансформатора,  $\beta_T = 0,8-0,9$ .

Полученное значение  $S_{\text{ном}}$  округляется до ближайшей большей стандартной мощности трансформатора.

Наибольшее значение реактивной мощности, которое можно передать через трансформатор в сеть напряжением до 1 кВ вычисляется по следующим формулам:

– для масляных трансформаторов

$$Q_T = \sqrt{(1,1 \cdot \beta_T \cdot S_{\text{ном}})^2 - P_p^2};$$

– для сухих трансформаторов

$$Q_T = \sqrt{(1,05 \cdot \beta_T \cdot S_{\text{ном}})^2 - P_p^2}.$$

Мощность батареи низковольтных конденсаторов (БНК)

$$Q_{\text{нк}} = Q_p - Q_T.$$

Рассчитанное значение  $Q_{\text{нк}}$  округляется до ближайшей стандартной величины мощности комплектной конденсаторной установки.

Полная расчетная мощность нагрузки цеха с учетом мощности БНК

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{HK})^2}.$$

Потери активной мощности в трансформаторе

$$\Delta P_T = \Delta P_X + \Delta P_K \cdot \left( \frac{S_p}{S_{НОМ}} \right)^2,$$

где  $\Delta P_X$  и  $\Delta P_K$  – потери холостого хода (XX) и короткого замыкания (КЗ) трансформатора соответственно.

Годовые потери электроэнергии в трансформаторе

$$\Delta W_T = \Delta P_X \cdot t_B + \Delta P_K \cdot \left( \frac{S_p}{S_{НОМ}} \right)^2 \cdot \tau,$$

где  $t_B$  – число часов включения трансформатора в течение года;  
 $\tau$  – время максимальных потерь, определяемое в зависимости от времени использования максимальной нагрузки  $T_{\max}$ .

Величину  $T_{\max}$  можно принять 2000 – для односменных, 3500 – для двухсменных и 5000 ч в год для трехсменных предприятий.

Годовой расход электроэнергии группы однотипных электроприемников (двигателей станков, вентиляторов и т.п.) определяется по выражению

$$W = \alpha \cdot K_{и} \cdot P_{НОМ} \cdot T_T,$$

где  $\alpha$  – коэффициент энергоиспользования (сменности по энергоиспользованию),  $\alpha = 0,65$ ;

$P_{НОМ}$  – суммарная номинальная мощность электроприемников группы;

$K_{и}$  – среднее значение коэффициента использования для данной группы электроприемников;

$T_{\Gamma}$  – годовое число часов работы предприятия.

Величина  $T_{\Gamma}$  для односменного предприятия равна 2250, двухсменного – 4500 и трехсменного – 6400 ч в год.

Годовой расход электроэнергии на освещение цеха рассчитывается по формуле

$$W_o = P_{po} \cdot T_{\max o},$$

где  $T_{\max o}$  – годовое число использования максимальной нагрузки для внутреннего освещения (750 ч – для односменных, 2250 ч – для двухсменных и 4150 ч – для трехсменных предприятий).

Расход электроэнергии цеха в целом включает в себя суммарное электропотребление силовых и осветительных приемников, а также потери в цеховой сети напряжением до 1кВ и БНК.

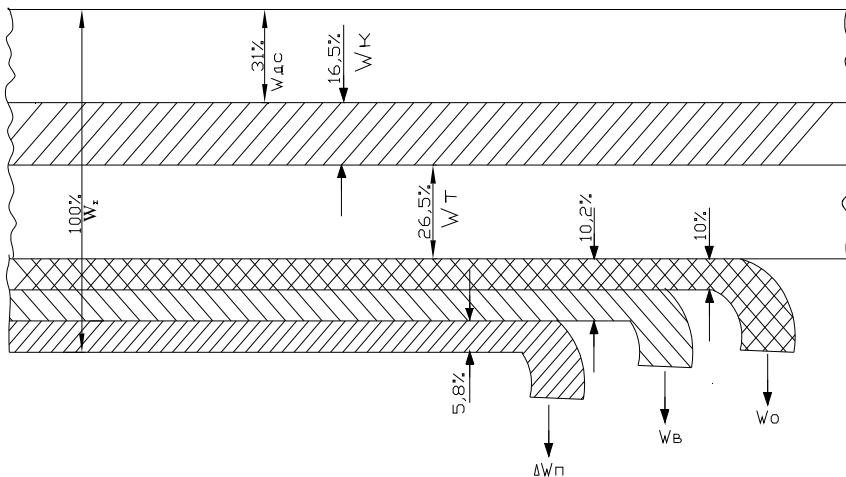
Потери электроэнергии в конденсаторных установках

$$\Delta W_k = \Delta p_y \cdot Q_{нк} \cdot T_{\Gamma},$$

где  $\Delta p_y$  – удельные потери мощности в БНК,  $\Delta p_y = 0,004$  кВт/квар.

Потери в цеховых сетях принимаются в размере 0,5–1,5 % от суммарного расхода электроэнергии цеха.

Энергетическая диаграмма, представленная ниже, дает графическое отображение расходов электроэнергии в % на электропривод станков  $W_{дс}$ , вентиляцию  $W_{в}$ , электротехнологию  $W_{т}$ , освещение  $W_o$ , крановыми установками  $W_k$ , а также суммарных потерь энергии  $\Delta W_{п}$  в трансформаторе, цеховых сетях напряжением до 1 кВ и БНК.



Энергетическая диаграмма годового расхода активной электроэнергии цеха

К основным показателям электрического хозяйства относятся следующие:

- 1) суммарное потребление электроэнергии  $W_{\Sigma}$ ;
- 2) максимальная (расчетная) нагрузка  $P_p$ ;
- 3) установленная мощность электроприемников

$$P_y = \sum_{i=1}^n P_{\text{ном } i} + P_{\text{ном } o},$$

где  $P_{\text{ном } i}$  – номинальная мощность  $i$ -го силового электроприемника;

$n$  – количество силовых электроприемников;

$P_{\text{ном } o}$  – установленная мощность освещения;

4) коэффициент спроса

$$K_c = \frac{P_p}{P_y};$$

- 5) количество установленных электродвигателей  $N_d$ ;  
6) суммарная мощность электродвигателей

$$P_d = \sum_{i=1}^{N_d} p_{\text{дном } i},$$

где  $p_{\text{дном } i}$  – номинальная мощность  $i$ -го электродвигателя;

- 7) средняя мощность электродвигателя

$$P_{\text{сд}} = \frac{P_d}{N_d};$$

- 8) среднегодовая потребляемая мощность цеха

$$P_c = \frac{W_{\Sigma}}{8760};$$

- 9) среднегодовой коэффициент использования

$$K_{\text{ис}} = \frac{P_c}{P_y};$$

- 10) коэффициент заполнения годового графика нагрузки

$$K_{\text{зг}} = \frac{P_c}{P_p};$$

- 11) коэффициент максимума

$$K_{\text{max}} = \frac{P_p}{P_c};$$



12) коэффициент технологической нагрузки

$$K_T = \frac{P_y}{P_d};$$

13) стоимость потребленной электроэнергии

$$C = \beta \cdot W_{\Sigma},$$

где  $\beta$  – средний тариф на электроэнергию, определяемый по следующей формуле:

$$\beta = \frac{a}{T_{\max}} + b,$$

где  $a$  и  $b$  – основная и дополнительная ставки действующего тарифа на электроэнергию.

## ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Аварийный режим** – кратковременный переходный режим, связанный с нарушением нормального режима работы системы электроснабжения или ее части и продолжающийся до отключения поврежденного элемента.

**Блок-станция** – электростанция потребителя, включенная в сеть энергосистемы, подчиняющаяся единому оперативно-диспетчерскому управлению энергоснабжающей организации.

**Внутрицеховая подстанция** – подстанция, расположенная внутри производственного здания (открыто или в отдельном закрытом помещении).

**Встроенная подстанция** (встроенное РУ) – закрытая подстанция (закрытое РУ), вписанная (вписанное) в контур основного здания.

**Выравнивание графика** – снижение суточного максимума электрической нагрузки с компенсацией недополученной электроэнергии во внепиковые часы.

**Главная понизительная подстанция (ГПП)** – подстанция с высшим напряжением 35–220 кВ, получающая питание непосредственно от энергосистемы и распределяющая электроэнергию на более низком напряжении по всему объекту или отдельной его части.

**Глубокий ввод** – система электроснабжения с приближением высшего напряжения 35–220 кВ к электроустановкам потребителей с минимальным количеством ступеней промежуточной трансформации и аппаратов.

**График нагрузки** – последовательность усредненных значений электрической нагрузки на определенном временном интервале.

**Двухставочный тариф** – тариф для промышленных и приравненных к ним потребителей, предусматривающий основную плату (за договорную или фактическую величину наибольшей получасовой совмещенной активной мощности, потребляемой в часы максимальных нагрузок энергосистемы) и дополнительную плату (за фактическое количество потребленной активной энергии) за расчетный период.

**Допустимый длительный ток** – ток, который может длительно протекать по проводнику, причем установившаяся температура проводника не должна превышать заданное значение при определенных условиях.

**Заземлитель** – проводник (электрод) или совокупность электрически соединенных между собой проводников, находящихся в контакте с землей или ее эквивалентом.

**Защитный проводник РЕ** – проводник, применяемый для каких-либо защитных мер от поражения электрическим током в случае повреждения и для соединения открытых проводящих частей с другими открытыми проводящими частями, со

сторонними проводящими частями, с заземлителями, заземляющим проводником или заземленной токоведущей частью.

**Кабель** – одна или более изолированных жил, заключенных в герметичную (металлическую или неметаллическую) оболочку, поверх которой могут быть стальная броня (ленточная или проволочная) и защитные покровы.

**Кабельная линия** – линия для передачи электроэнергии или ее отдельных импульсов, состоящая из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами (заделками) и крепежными деталями.

**Комплектная трансформаторная (преобразовательная) подстанция (КТП, КПП)** – подстанция, состоящая из трансформаторов (преобразователей) и блоков, поставляемых в собранном или полностью подготовленном для сборки виде.

**Комплектное распределительное устройство (КРУ)** – распределительное устройство, состоящее из полностью или частично закрытых шкафов или блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики, поставляемое в собранном или полностью подготовленном для сборки виде.

**Конденсаторная батарея** – группа единичных конденсаторов, электрически соединенных между собой.

**Конденсаторная установка (КУ)** – электроустановка, состоящая из конденсаторов, относящегося к ним вспомогательного электрооборудования и ошиновки.

**Линия электропередачи** – система проводов и кабелей, предназначенная для передачи электроэнергии от источника к потребителям.

**Нейтраль** – совокупность соединенных между собой нейтральных точек и проводников.

**Нормальный режим** – установившееся состояние системы электроснабжения, при котором параметры режима в течение некоторого периода можно считать неизменными.

**Нулевой защитный проводник PE** – проводник в электроустановках до 1 кВ, соединяющий зануляемые части с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной средней точкой источника в сетях постоянного тока.

**Нулевой рабочий проводник N** – проводник, используемый для питания приемников электрической энергии и соединения одного из их выводов с заземленной нейтралью электроустановки.

**Подстанция** – электроустановка, служащая для преобразования и распределения электроэнергии и состоящая из трансформаторов или других преобразователей энергии, распределительных устройств, устройств управления и вспомогательных сооружений.

**Подстанция глубокого ввода (ПГВ)** – подстанция с высшим напряжением 35–220 кВ, выполненная по упрощенным схемам коммутации на первичном напряжении, получающая питание непосредственно от энергосистемы или от узловой распределительной подстанции данного предприятия и предназначенная для питания отдельного объекта или части предприятия.

**Послеаварийный режим** – режим, возникающий после отключения отказавшего элемента системы электроснабжения, продолжающийся до восстановления нормального режима, но не более суток.

**Потребитель электрической энергии** – электроприемник или группа электроприемников, которые объединены технологическим процессом и размещаются на определенной территории.

**Присоединение** – ответвление от сборных шин или «отпайка» от линии, предназначенные для питания какого-либо потребителя или подстанции.

**Пристроенная подстанция (пристроенное РУ)** – подстанция (РУ), непосредственно примыкающая (примыкающее) к основному зданию.

**Приемный пункт электроэнергии** – электроустановка, на которую поступает электроэнергия на предприятие от внешнего источника.

**Провод** – одна неизолированная или одна или более изолированных жил, поверх которых могут быть неметаллическая оболочка и металлические или неметаллические защитные покрытия.

**Располагаемая мощность** – мощность, которую энергосистема может в данное время отпустить для питания данного потребителя электроэнергии.

**Распределительный пункт (РП)** – распределительное устройство, не входящее в состав подстанции, предназначенное для приема и распределения электроэнергии на одном напряжении без преобразования и трансформации.

**Распределительное устройство (РУ)** – электроустановка, служащая для приема и распределения электроэнергии и содержащая коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы.

**Расчетный учет электроэнергии** – учет выработанной, а также отпущенной потребителям электроэнергии для денежного расчета за нее.

**Сверхток** – ток, значение которого превосходит наибольшее рабочее значение тока электроустановки.

**Синхронный компенсатор** – синхронный электродвигатель облегченной конструкции без нагрузки на валу, который может работать как в режиме генерирования реактивной мощности (при перевозбуждении), так и в режиме ее потребления (при недовозбуждении).

**Система электроснабжения** – совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электроэнергией.

**Совмещенный нулевой рабочий и нулевой защитный проводник PEN** – проводник, сочетающий функции защитного и нулевого рабочего проводников.

**Тарифы на электрическую энергию (мощность)** – система ценовых ставок, по которым осуществляются расчеты за электрическую энергию (мощность).

**Технический учет электроэнергии** – учет для контроля расхода электроэнергии внутри электростанций, подстанций, предприятий, в зданиях и т.п.

**Токопровод** – устройство, предназначенное для передачи и распределения электроэнергии, состоящее из неизолированных или изолированных проводников и относящихся к ним изоляторов, защитных оболочек, ответвительных устройств, поддерживающих и опорных конструкций.

**Ток короткого замыкания** – сверхток, обусловленный повреждением с пренебрежимо малым полным сопротивлением между точками, находящимися под разными потенциалами в нормальных рабочих условиях.

**Ток перегрузки** – сверхток в электрической цепи электроустановки при отсутствии электрических повреждений.

**Ток повреждения** – ток, появившийся в результате повреждения или перекрытия изоляции.

**Ток утечки** – ток, который протекает в землю или на сторонние проводящие части в электрически неповрежденной цепи.

**Токоведущая часть** – электропроводящая часть электроустановки, находящаяся в процессе ее работы под рабочим напряжением.

**Узловая распределительная подстанция (УРП)** – центральная подстанция предприятия на напряжение 110–500 кВ, получающая питание от энергосистемы и распределяющая ее (без трансформации или с частичной трансформацией) по подстанциям глубоких вводов 35–220 кВ на территории предприятия.

**Централизованное электроснабжение** – электроснабжение потребителей от энергосистемы.

**Центральный распределительный пункт (ЦРП)** – центральный пункт, получающий питание непосредственно от энергосистемы или заводской электростанции на напряжении 6–10 кВ

и распределяющий электроэнергию на том же напряжении по всему объекту или отдельной его части.

**Шинопровод** – жесткий токопровод до 1 кВ заводского изготовления, поставляемый комплектными секциями.

**Электрическая сеть** – совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающая на определенной территории.

**Электрическая цепь** – совокупность электрооборудования, соединенного проводами и кабелями, через которое может протекать электрический ток.

**Электрооборудование** – любое оборудование, предназначенное для производства, преобразования, передачи, распределения или потребления электрической энергии (например, машины, трансформаторы, аппараты, измерительные приборы, устройства защиты, кабельная продукция и т.п.).

**Электроприемник** – аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

**Электрическая часть энергосистемы (электрическая система)** – совокупность электроустановок электрических станций и электрических сетей энергосистемы.

**Электроснабжение** – обеспечение потребителей электрической энергией.

**Электростанция** – электроустановка, производящая электроэнергию или электрическую и тепловую энергию.

**Электроустановка** – любое сочетание взаимосвязанного электрооборудования в пределах данного пространства или помещения.

**Электроэнергетическая система** – электрическая часть энергосистемы и питающиеся от нее приемники электрической энергии, объединенные общностью процесса производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии.

**Энергетическая система** – совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, преобразования и распределения электрической энергии и теплоты при общем управлении этим режимом.

## ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Князевский, Б.А. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.А. Князевский, Б.Ю. Липкин. – М.: Высшая школа, 1986. – 400 с.
2. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.И. Кудрин. – М.: Интермет – Инжиниринг, 2005. – 671 с.
3. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.И. Кудрин. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 416 с.
4. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.И. Кудрин, В.В. Прокопчик. – Минск: Вышэйшая школа, 1988. – 358 с.
5. Ристхейн, Э.М. Электроснабжение промышленных предприятий / Э.М. Ристхейн. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 424 с.
6. Федоров, А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Федоров, В.В. Каменева. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.
7. Федоров, А.А. Электроснабжение промышленных предприятий / А.А. Федоров, Э.М. Ристхейн. – М.: Энергия, 1981. – 360 с.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

8. Конюхова, Е.А. Электроснабжение объектов / Е.А. Конюхова. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 320 с.
9. Мукосеев, Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий / Ю.Л. Мукосеев. – М.: Энергия, 1973. – 584 с.
10. Ополева, Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения / Г.Н. Ополева. – М.: Форум-Инфа-М, 2006. – 480 с.



11. Радкевич, В.Н. Проектирование систем электроснабжения / В.Н. Радкевич. – Минск: НПООО «Пион», 2001. – 292 с.

12. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий / Ю.Д. Сибикин. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 368 с.

13. Ус, А.Г. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий / А.Г. Ус, Л.И. Евминов. – Минск: НПООО «Пион», 2002. – 457 с.

## Приложение

Таблица П1

Коэффициенты использования ( $k_{и}$ ) и мощности ( $\cos\varphi$ )  
для определения электрических нагрузок

Наименование групп электроприемников	Коэффициенты	
	$k_{и}$	$\cos\varphi$

Металлорежущие станки мелкосерийного производства (токарные, сверлильные, фрезерные, точильные и т.п.)	0,12–0,14	0,4–0,5
То же, при крупносерийном производстве	0,16	0,5
То же, при тяжелом режиме работы	0,17–0,2	0,65
Краны, тельферы при ПВ = 40 %	0,1	0,5
Печи сопротивления с автоматической загрузкой	0,8	0,95
То же, с периодической загрузкой	0,6	0,85
Вентиляторы	0,65–0,8	0,8

Таблица П2

Значения коэффициентов расчетной нагрузки  $K_p$  на шинах низшего напряжения цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

$n_3$	Коэффициент использования $K_{II}$							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	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
11–25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9
26–50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,85	0,85
> 50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8

Таблица П3

Основные технические характеристики низковольтных комплектных конденсаторных установок

№ п/п	Тип	Номинальная мощность, квар	Мощность ступени регулиро-	Количество ступеней, шт.
-------	-----	----------------------------	----------------------------	--------------------------

			вания, квар	
1	УКБН-0,38-100-50У3	100	50	2
2	УКБН-0,38-150-50У3	150	150	1
3	УКБН-0,38-200-50У3	200	50	4
4	УКБН-0,38-300-50У3	300	150	2
5	УКБН-0,38-450-50У3	450	150	3
6	УКБН-0,38-600-50У3	600	150	4

Таблица П4

Технические характеристики трансформаторов серии ТМГ  
и ТСГЛ

Тип	Номинальная мощность, кВ·А	Потери, кВт		Напряжение КЗ, %	Ток ХХ, %
		ХХ	КЗ		
ТМГ-400/10	400	0,83	5,6	4,5	0,8
ТМГ-630/10	630	1,24	7,6	5,5	0,6
ТМГ-1000/10	1000	1,6	10,8	5,5	0,5
ТМГ-1250/10	1250	1,8	12,4	6,0	0,5
ТМГ-1600/10	1600	1,95	16,5	6,0	1,0
ТМГ-2500/10	2500	3,4	25,0	6,0	0,8
ТСГЛ-400/10	400	1,2	3,9	5,5	2,5
ТСГЛ-630/10	630	1,65	5,73	5,5	2,0
ТСГЛ-1000/10	1000	2,15	8,4	6,0	1,5
ТСГЛ-1250/10	1250	2,25	10,6	6,0	1,0
ТСГЛ-1600/10	1600	2,6	11,8	6,0	1,0
ТСГЛ-2500/10	2500	4,4	16,4	6,0	0,5

Таблица П5

Число часов максимальных потерь  $\tau$  в зависимости от времени  
использования максимальной нагрузки  $T_{\max}$

$T_{\max}$ , ч	$\tau$ , ч	$T_{\max}$ , ч	$\tau$ , ч
3000	1300	5500	3650

3500	1650	6000	4300
4000	2000	6500	5000
4500	2500	7000	5700
5000	3000	7500	6450

Учебное издание

## ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Рабочая программа, методические указания  
и контрольное задание для студентов направления  
1-27 01 01-10 «Экономика и организация производства  
(энергетика)»

Составители:

РАДКЕВИЧ Владимир Николаевич  
КОЗЛОВСКАЯ Влада Борисовна

Редактор И.Ю. Никитенко

Компьютерная верстка Н.А. Школьниковой

---

Подписано в печать 30.09.2010.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,00. Тираж 100. Заказ 607.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.