

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра строительства,  
энергетики и транспорта**

Методические указания  
к курсовому проекту

по дисциплине:

Электроэнергетика

для направления подготовки (специальности)

13.03.02

код направления подготовки

«Электроэнергетика и электротехника». Профиль – «Электроснабжение»

наименование направления подготовки

Для всех форм обучения

код и наименование специальности, форма обучения

Мурманск  
2021

Составил: Васильева Елена Витальевна, доцент кафедры строительства, электроэнергетики и транспорта Мурманского государственного технического университета

Методические указания к курсовому проекту рассмотрены и одобрены на заседании кафедры СЭиТ 01.07. 2021 г., протокол № 05

Методические указания составлены на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», утвержденного приказом Минобрнауки РФ 03.09.2015 № 955, учебного плана в составе ОПОП по направлению подготовки/специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электроснабжение».

Процесс изучения дисциплины «Электроэнергетика» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО: ОПК-2. Способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач.

ПК-5. Готовность определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: способы производства электроэнергии; методы расчета электрических нагрузок;

общие сведения об электрических станциях, подстанциях и ЛЭП; показатели качества электроэнергии и способы его обеспечения; компенсацию реактивной мощности.

Уметь: выполнять выбор основного электрооборудования РУ предприятий и подстанций и обосновывать его; производить расчет электрических нагрузок предприятия; выполнять расчет режимов работы электрических сетей предприятия; выполнять чертежи принципиальных электрических схем объектов профессиональной деятельности.

Владеть: методиками расчета электрических нагрузок предприятия; навыками построения схем и чертежей объектов профессиональной деятельности; анализом результатов, получаемых в результате расчета режимов работы предприятия

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

1. ВВЕДЕНИЕ	4
2. СОДЕРЖАНИЕ КП	5
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КП	6
4. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	15

## **Введение.**

Курсовое проектирование является одной из важнейших форм учебной работы. Оно ставит своей целью закрепить умения и систематизировать знания, полученные по дисциплине «Электроэнергетика», а также в смежных дисциплинах, научить студентов применять эти знания при решении инженерных задач, привить им навыки к самостоятельной работе.

Курсовой проект оформляют в виде сброшюрованной расчётно-пояснительной записки форматом А4. Титульный лист – по форме, утверждённой на кафедре, подписывают студент и руководитель проекта.

В пояснительной записке нумерацию глав, параграфов, основную надпись на каждой странице и ссылки на литературные источники выполняют в соответствии с ГОСТом. Результаты расчётов рекомендуется сводить в таблицы, номограммы, графики. Единицы измерения приводят только в системе СИ (стандарт СЭВ 1052-78). Чертежи выполняют на чертёжной бумаге с соблюдением действующих ГОСТов. На каждом чертеже должен быть штамп утверждённого образца.

Проект выполняют в соответствии с ПУЭ. Система электроснабжения в схемной, компоновочной и конструктивной частях, должна обеспечивать возможность роста потребления электроэнергии предприятиями без коренной реконструкции системы электроснабжения. При этом выбор коммутационных аппаратов производят так, чтобы их параметры не лимитировали использование перегрузочной способности электрооборудования

## 2. Содержание курсового проекта

### 2.1. Содержание расчётно-пояснительной записки

В расчётно-пояснительной записке объёмом 30-50 рассмотрены следующие вопросы: Исходные данные на проектирование; расчёты электрических нагрузок цеха; определение центра электрических нагрузок (ЦЭН) предприятия; технико-экономическое обоснование оптимального варианта схемы электроснабжения; обоснование оптимального режима компенсации реактивной.

### 2.2. Графическая часть проекта

Курсовой проект содержит один листа чертежа формата А1.

На нем выполняют:

1. Ситуационный план предприятия с картограммами нагрузок.
2. Схему электроснабжения предприятия (принятый вариант).
3. Ситуационный план предприятия, с трассами линий электрической сетей, подстанциями (РП, ГПП, ТП).
4. Материалы индивидуальных заданий.

### 2.3. Дополнительные задания

При выполнении курсового проекта студент может получить дополнительные индивидуальные задания для углублённой проработки отдельных вопросов электроснабжения. Темы дополнительных заданий выдают руководители. Примерный перечень индивидуальных заданий:

1. Размещение статических конденсаторов в сетях высокого и низкого напряжений.
2. Регулирование напряжения в распределительных сетях.
3. Определение минимума загрузки ВЛ реактивной мощностью.
4. Выбор режима нейтрали в распределительных сетях.
5. Вопросы устойчивости и самозапуска двигателей при посадках напряжения.
6. Обеспечение условий электробезопасности электроустановок промпредприятия.
7. Проектирование системы освещения одного из цехов.
8. Небольшие теоретические темы или экспериментальные исследования и др.

### **3. Методические указания к пояснительной записке проекта**

#### **3.1. Введение**

В этом разделе необходимо указать значение предприятия и его роль в народном хозяйстве, отметить особенности климатических условий Севера, оказывающих влияние на проектные решения.

#### **3.2. Исходные данные на проектирование**

В этом разделе указывают исходные данные, необходимые для проектирования (ситуационный план предприятия, данные об электроприёмниках, их расположение, мощность питающей системы, стоимость электроэнергии, расстояние от системы до предприятия и др.). Кроме этого, могут быть указаны и другие факторы, влияющие на выбор элементов системы электроснабжения. Недостающие данные можно узнать в справочной литературе или уточнить у руководителя.

#### **3.3. Краткая характеристика предприятия**

Проектирование любого звена системы электроснабжения промышленного предприятия (участка, отделения, цеха или завода в целом) должно начинаться с изучения технологических особенностей предприятия.

Проектируемая система должна удовлетворять условиям надёжности и экономичности, обеспечивать качество энергии у потребителя, безопасность, удобство эксплуатации и возможность развития. Зная технологию производства, можно легко и удобно составить схему электроснабжения любого технологического агрегата, линии или передела. Например: конвертер главного пролёта металлургического завода имеет много электроприёмников (привода быстрого и медленного поворотов, транспортёрные тракты, аспирация и др.); при составлении схемы нет необходимости записывать эти электроприёмники от разных секций одной подстанции, так как отключение хотя бы части электроприёмников отразится на работе конвертера. Однако есть электроприёмники и технологические агрегаты, осуществить питание которых необходимо только от независимых источников питания.

Зная динамику развития технологических нагрузок, необходимо учесть её дальнейшее развитие и возможность объединения с основной схемой. Проектируемые схемы должны обладать эксплуатационно-структурной гибкостью.

#### **3.4. Краткая характеристика электроприёмников**

Потребителем электроэнергии называется электроприёмник или группа электроприёмников, объединённых технологическим процессом и размещающихся на определённой территории. Приёмником электрической энергии (электроприёмником) называется аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид.

Систематизация потребителей электроэнергии осуществляется обычно по следующим основным эксплуатационно-техническим признакам: производственному назначению, производственным связям, режимам работы, мощности, напряжению, роду тока, территориальному размещению, требованиям к надёжности электроснабжения, стабильности расположения электроприёмников.

При проектировании электроснабжения предприятия достаточно



1							
2							
и т.д.							

\* Суммарная установленная мощность предприятия в целом

### 3.7. Картограмма и определение центра электрических нагрузок

Картограмму электрических нагрузок наносят на ситуационный план предприятия для определения местоположения цеховых ТП и ГПП. Построение картограммы нагрузок производят на основании результатов определения расчетных нагрузок цехов, исходя из условия, что площади кругов картограммы в выбранном масштабе является расчетными нагрузками цехов.

В качестве расчетной нагрузки для построения картограммы принимают полную расчетную мощность каждого цеха, так как реактивная мощность цеха подлежит компенсации.

Радиусы окружностей для каждого цеха находят из выражения

$$r_i = \sqrt{(P_{pi} / \pi m)},$$

где  $P_{pi}$  - расчетная активная нагрузка  $i$ -го цеха, кВт;  $m$ - масштаб площади круга, кВт/мм<sup>2</sup> или кВт/см<sup>2</sup>;  $r_i$  - радиус окружности, мм или см.

### 3.8. Размещение ГПП, ЦРП, РП на территории предприятия

В данном разделе рассматривают и решают вопросы передачи электроэнергии от ГПП или ЦРП к цехам и административно-производственным зданиям предприятий.

В первом приближении местоположение ГПП и ЦРП может быть выбрано в ЦЭН. Однако выбранное таким образом расположение подстанции должно корректироваться с учетом конкретных условий производства, его территория и т.д. Для расположения подстанции с ее реальными геометрическими размерами необходима определенная свободная площадь на территории предприятия. Также необходимо предусмотреть наличие определенной площади для конструктивного осуществления кабельных трасс, эстакад с линии.

В условиях Севера предпочтение нужно отдавать прокладке кабелей по эстакадам. Контрольные кабели для цепей управления и защиты по территории ОРУ также необходимо вести по надземным конструкциям. Эта рекомендация вызвана тем, что прокладка кабелей в траншеях и каналах затрудняет условия эксплуатации. В короткий летний период каналы и траншеи обводняются, и при замерзаниях в зимних условиях происходит разрыв кабелей. Расположение ГПП (ЦРП), воздушных и кабельных линий не должно создавать затруднения для внутривозвездского транспорта. Следует также принимать во внимание требования технической эстетики и промышленной архитектуры. Приведенные выше соображения часто вынуждают располагать ГПП (ЦРП) на границе или вблизи территории предприятия.

ОРУ-110 кВ в условиях Севера подвергаются сильным снежным заносам. В связи с этим оборудование ОРУ (ЛР, ШР, ошиновки) размещают на высоте 5-6 м, соответственно поднимая их приводы. Для удобства обслуживания и ремонтов оборудования сооружают стационарные площадки. При компоновке подстанция ОРУ следует располагать с наветренной стороны, что обеспечивает минимальные снежные заносы.

Таблица 2 - Размещение ТП, ГПП, ЦРП

№ цеха	Категория помещения		№ ТП на картограмме нагрузок	Исполнение ТП
	пожароопасное	взрывоопасное		
1				
2				
и т.д.				

### 3.9. Определение количества и мощности цеховых ТП

Одна и та же электрическая нагрузка цехов на напряжение до 1000 В может быть обеспечена малым числом трансформаторов большой мощности и большим числом трансформаторов малой мощности. Поэтому выбор оптимальной мощности цеховых подстанций должен быть основан на технико-экономических расчетах. Такие расчеты очень громоздки, так как в них, помимо подстанций, учитывают и питающие линии 6-10 кВ и цеховые распределительные сети до 1000 В. Сложность расчета обусловлена тем, что капиталовложения в потери мощности в цеховых сетях находятся в зависимости от числа подстанций и увеличиваются вместе с укрупнением единичной мощности трансформаторов, но при этом снижаются капиталовложения в распределительные устройства и линии 6-10 кВ, питающие цеховые ТП. При малой единичной мощности трансформаторов уменьшаются капиталовложения и потери в цеховых сетях, но увеличиваются потери электроэнергии и капиталовложения в трансформаторы и сети 6-10 кВ.

Экономическую мощность одного трансформатора приближенно можно найти по формулам:

для однострансформаторной подстанции

$$S_{\text{ЭК}} = 8750 \cdot \sqrt[3]{(1 + 0,01m)^2 / m} \cdot \sqrt[3]{\sigma} \quad \text{кВ} \cdot \text{А},$$

для двухтрансформаторной подстанции

$$S_{\text{ЭК}} = 6950 \cdot \sqrt[3]{(1 + 0,01m)^2 / m} \cdot \sqrt[3]{\sigma} \quad \text{кВ} \cdot \text{А},$$

где  $\sigma = S_{\text{н}} / F$  - плотность нагрузки, кВ·А/м<sup>2</sup>;

$S_{\text{н}}$  - номинальная установленная мощность электроприемников цеха до 1000 В;

$F$  - площадь цеха, м<sup>2</sup>;

$m = C_0 \cdot$

$\tau$  - стоимость потерь, руб/кВт, где

$C_0$  - стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч;

$\tau$  - годовое число использования максимума электроэнергии, час.

Найденное значение  $S_{\text{т.рек}}$  округляется по каталожным данным, причем принимается типоразмер трансформатора, наиболее близко соответствующий найденному значению. Число типоразмеров трансформаторов на одном предприятии должно быть минимальным.

Таблица 3 – Выбор трансформаторов ТП

№ цеха	Установленная мощность $P_{\text{н}}/Q_{\text{н}}$ , кВт/квар	Экономическая мощность $S_{\text{ЭК}}$ , кВ·А	Тип трансформатора	Паспортные данные трансформатора			
1							
2							

и т.д.							
--------	--	--	--	--	--	--	--

### 3.10. Компенсация реактивной мощности (РМ)

Комплектные устройства (КУ) выбирают для режима наибольшего потребления реактивной мощности в сети проектируемой установки. Тип, мощность, места установки и режим работы КУ должны обеспечивать минимум потерь активной мощности в узле нагрузки при соблюдении технических условий, в частности, уровня напряжения на динах ГПП (РП) и статической устойчивости электроприемников (АД, СД).

Компенсацию РМ в сетях до 1000 В можно осуществлять при помощи синхронных двигателей (СД) или батарей конденсаторов (БК) присоединенных непосредственно в сети до 1000 В. Возможна также передача реактивной мощности со стороны сети 6-10 кВ от СД, БК, генераторов местных станций или от сети энергосистемы. В качестве основного средства компенсации на промышленных предприятиях следует применять БК. Источник РМ на стороне 6-10 кВ (крупные СД или БК) экономичнее БК на напряжении выше 1000 В, но передача РМ со стороны 6-10 кВ может привести к увеличению установленной мощности трансформаторов и дополнительным потерям электроэнергии в сетях и трансформаторах. Поэтому прежде всего необходимо выбрать оптимальный способ компенсации РМ на стороне до 1000 В.

### 3.11. Выбор схемы внешнего электроснабжения по технико-экономическим показателям

На всех ступенях системы электроснабжения следует широко применять простейшие схемы электрических соединения с установкой высоковольтных выключателей на стороне высокого напряжения, так называемые блочные схемы подстанций без сборных шин:

- а) блок-линия 35-330 кВ - трансформатор ГПП (или ПГВ);
- б) блок-линия 35-333 кВ - трансформатор ЛШ (ПГВ)-токопровод 6-35 кВ;
- в) блок-линия 6-10 кВ - трансформатор ТП;
- г) блок-линия 6-10 кВ - трансформатор ТП-шинопровод до 1000 В;

В соответствии с типовой методикой определения экономической эффективности капитальных вложений в качестве критерия сравнительной экономической эффективности схем электроснабжения принимают минимум приведенных затрат, руб/год:

$$Z = F_n \cdot K + I$$

где К, И - соответственно, капитальные затраты и ежегодные расходы в рассматриваемых вариантах схем электроснабжения промышленных предприятий; F - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений,  $F=0,15 \text{ год}^{-1}$ .

Наивыгоднейший вариант схемы электроснабжения промышленного предприятия выбирают по условию минимальных приведенных затрат.

Количество вариантов схем внешнего электроснабжения определяется конструктивным выполнением и числом линий высокого напряжения, шкалой минимальных напряжений.

Таблица 3.1 - Техничко-экономические показатели схем внешнего электроснабжения

№ вариан.	Капитальные затраты, руб.	Ежегодные расходы, руб/год			Приведённые затраты, руб/год
		амортиза-ция	обслужива-ние	потери эл. энергии	

3.12. Расчет внутриводских распределительных сетей и их конструктивное исполнение

Выбор вторичного напряжения ГПП при невозможности выполнения глубоких вводов проводят на основе ТЭР. Рассмотрим варианты распределения энергии на напряжении 6 или 10 кВ.

Напряжение 10 кВ рекомендуется широко применять на предприятиях малой и средней мощности, на которых нет значительного количества двигателей напряжением выше 1000 В, а также на крупных предприятиях с большим количеством электроприемников с высоковольтными двигателями» мощностью более 500 кВт.

На предприятиях с большим количеством двигателей средней мощности необходимо рассматривать применение напряжений 10 кВ для распределительных сетей завода и 660 В для цеховых сетей, так как мощности двигателей на напряжениях 660 В и 10 кВ смыкаются, что позволяет отказаться от напряжения 6 кВ.

Таблица 3.2.- Данные по линиям внутреннего электроснабжения

Номер варианта	Номер линии, длина, км	Нагрузка, кВт·А	Расчётный ток, А,	Марка, сечение, мм	Количество кабелей	Допустимый ток, А	Стоимость 1 км линии, руб/км	Общая стоимость линии, руб

На основании указанных данных выявляют технико-экономические показатели вариантов внутреннего электроснабжения: капитальные вложения, ежегодные расходы, на основании которых делают выводы о целесообразности того или иного варианта.

3.13. Расчет токов короткого замыкания, выбор и проверка электрических аппаратов, изоляторов и токоведущих частей

Расчет токов короткого замыкания (КЗ) в проектируемой системе электроснабжения должен выявить величины токов КЗ в точках расчетной схемы, где намечается установка соответствующих высоковольтных и

низковольтных аппаратов и производится выбор токоведущих частей (шин и кабелей).

При проектировании системы электроснабжения токи КЗ рассчитывают от источника неограниченной мощности и по расчетным кривым.

За расчетную принимают схему длительного режима при условии, что включены все рабочие и резервные источники питания и с учетом подпитки места КЗ от высоковольтных двигателей двух секций при включенном секционном выключателе. Не следует рассматривать параллельный режим работы трансформаторов, если он создается в момент оперативных переключений. В расчетных схемах электроустановок напряжением выше 1000 В обычно принимают во внимание только индуктивные сопротивления электрических машин, силовых трансформаторов, реакторов, воздушных и кабельных линий, токопроводов. Активные сопротивления кабельных линий и цеховых трансформаторов учитывают для удаленных точек КЗ, когда результирующее активное сопротивление составляет более 0,3 от суммарного индуктивного.

В схеме замещения результирующее сопротивление отдельных элементов цепи КЗ выражают в омах, мегаомах и в относительных единицах, приведенных к базисному напряжению или базисной мощности. За базисное напряжение принимают среднее напряжение той ступени, на которой производится расчет токов к.з. :0,23; 0,4; 0,525; 0,69; 3,115; 6,3; 10,5; 37; 115; 230 кВ. за базисную мощность - мощность, равную 1. Например, можно принимать мощность системы, генераторов станций, трансформаторов подстанций или число, удобное для расчета - кратное 10 (10, 100, 1000 МВ·А).

Все электрические аппараты, токоведущие части и изоляторы схемы электроснабжения выбирают по условию нормального режима и проверяют на устойчивость действия при КЗ. При этом определение токов КЗ необходимо для следующих целей:

а) проверки элементов системы электроснабжения на динамическую устойчивость (расчет ударного тока КЗ  $i_y$  и наибольшего значения тока КЗ за первый период  $I''$ );

б) проверки элементов системы электроснабжения на термическую устойчивость (расчет действующего значения установившегося тока КЗ  $I_\infty$  и приведенного времени  $t_n$ , соответствующего полному току КЗ);

в) проверки выключателей по отключающей способности (расчет действующего значения периодической составляющей тока КЗ  $I_t$  для  $t=0,2$  с - времени отключения выключателя).

Таким образом, результатом расчета токов КЗ является определение следующих величин:  $i_y$ ,  $I''$ ,  $I_\infty$ ,  $t_n$ ,  $I_{0,2}$ .

Значение токов КЗ на шинах напряжением 6-10кВ подстанций промышленного предприятия, как правило, должно быть ограничено величиной, позволяющей применять КРУ серийного промышленного производства. При этом оптимальное значение расчётного тока КЗ должно определяться с учётом двух факторов:

а) обеспечения возможности применения электрических аппаратов с более лёгкими параметрами и проводников возможно меньшего сечения;

б) ограничения отклонений и колебаний напряжения при

резкопеременных толчковых нагрузках.

В необходимых случаях расчётную величину тока КЗ определяют на основании ТЭР по минимуму приведённых затрат на ограничение токов КЗ.

Параметры, по которым производится выбор и проверка электрических аппаратов указаны в таблице 3.3.

Таблица 3.3. Факторы, учитываемые при выборе электрических аппаратов и устройств.

Тип аппарата или устройства	Номинальное напряжение	Номинальный ток	Устойчивость при КЗ		Нагрузка вторичных цепей	Коммутационная способность	Характеристика токоограничения	Потеря напряжения в нормальном режиме
			Электродинамическая	Термическая				
Выключатель	+	+	+	+	-	+	-	-
Разъединитель	+	+	+	+	-	(+)	-	-
Предохранитель	+	+	-	-	-	+	+	-
Выключатель нагрузки	+	+	+	+	-	+	-	+
Разрядник	+	-	-	-	-	+	-	-
Трансформатор тока	+	+	+	+	+	-	-	-
Трансформатор напряжения	+	-	-	-	+	-	-	-
Опорный изолятор	+	+	+	-	-	-	-	-
Проходной изолятор	+	+	+	-	-	-	-	-
Реактор	+	+	+	+	-	-	-	+
Автомат	+	+	(+)	-	-	+	+	-
Контактор	+	+	-	-	-	+	-	-
Магнитный пускатель	+	+	-	-	-	+	-	-
Рубильник	+	+	+	+	-	+	-	-

Примечание. Факторы, отмеченные знаком (+), учитываются в частных случаях.

## Список литературы

1. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики. – М.: КноРус, 2013. – 278 с. ил.
2. Герасименко А.А. Передача и распределение электрической энергии. – М.: КноРус, 2015. – 724 с. ил.
3. Кудрин Б.И. Электроснабжение. – М.: Академия, 2013. – 672 с. ил.
4. Кудрин Б.И. Электроснабжение. – М.: Академия, 2013. – 672 с. ил.
5. Шаров Ю.В. Электроэнергетика. – М.: Инфра-М, 2016. – 384 с. ил.
6. Кудинов А.А. Тепловые электрические станции. Схемы и оборудование: Учебное пособие. – М.: Инфра-М, 2015. – 376 с. ил.
7. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования. – М.: Инфра-М, 2013. – 271 с. ил.
8. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник. – М.: Инфра-М, 2016. – 416 с. ил.
9. Сибикин Ю.Д. Технология энергоснабжения: Учебник – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Форум, 2015. – 352 с. ил.
10. Сибикин Ю.Д. Электрические подстанции. – М.: РадиоСофт, 2014. – 141 с. ил.
11. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии/ под ред. В.В. Денисова. – М.: Феникс, 2015. – 382 с. ил.
12. Шабад В.К. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах. – М.: Академия, 2013. – 193 с. ил.
13. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. – М.: КноРус, 2016. – 240 с. ил.
14. Важов В.Ф. Техника высоких напряжений: Учебник. – М.: Инфра-М, 2016. – 264 с. ил.
15. Ушаков В.Я. Электроэнергетические системы и сети. – М.: Юрайт, 2016. – 446 с. ил.
16. Климова Г.Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение. 2-е изд. – М.: Юрайт, 2016. – 179 с. ил.
17. Бачаров Ю.Н. Техника высоких напряжений. – М.: Юрайт, 2016. – 264 с. ил.
18. Хрущев Ю.В. Электроэнергетические системы и сети. Электрические переходные процессы. – М.: Юрайт, 2016. – 153 с. ил.
19. Исмагилов Ф.Р. Основные вопросы проектирования воздушных линий электропередач: Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2015. – 211 с. ил.
20. Фролов Ю.М., Шелякин В.П. Основы электроснабжения. – СПб.: Лань, 2013. – 432 с. ил.
21. Почаевец В.С. Электрические подстанции: Учебник. – М.: Маршрут, 2012. – 492 с. ил.