

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ**

Методические указания  
для самостоятельной и контрольной работы

Новосибирск 2017

УДК

Кафедра техносферной безопасности и электротехнологий

Составитель канд. техн. наук, доц. Н.П. Гужов

Рецензент канд. техн. наук, доц. Е.И. Гаршина

Электроснабжение: метод. указания для самост. и контр. работы/ Н.П. Гужов. Новосиб. гос. аграр. ун-т, Инженер. ин-т. – Новосибирск, 2017. – 23с.

Содержат указания для самостоятельного изучения дисциплины, а также задания и методические указания по выполнению контрольной работы по электроснабжению фрагмента населенного пункта сельскохозяйственного района, представлена справочная информация по расчету электрических нагрузок, выбору сечения проводников линий электропередачи, мощности трансформаторов и электрических аппаратов.

Предназначены для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия (профиль Электрооборудование и электротехнологии в агропромышленном комплексе).

Утверждены и рекомендованы к изданию учебно-методическим советом Инженерного института (протокол № 8 от 28 марта 2017 г.).

© Новосибирский государственный  
аграрный университет, 2017  
© Инженерный институт, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |    |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....  | 4  |
| 1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ<br>ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ И РАЗДЕЛОВ КУРСА..... | 5  |
| 1.1. Цель и задачи курса .....   | 5  |
| 1.2. Общие методические рекомендации по изучению<br>курса «Электроснабжение» ..... | 5  |
| 1.2.1. Введение.....   | 5  |
| 1.2.2. Схемные решения элементов системы электроснабжения .....                    | 6  |
| 1.2.3. Электрические нагрузки .....  | 6  |
| 1.2.4. Выбор и проверка элементов системы электроснабжения .....                   | 7  |
| 1.2.5. Компенсация реактивной мощности .....                                       | 8  |
| 1.2.6. Качество электрической энергии.....   | 9  |
| 1.2.7. Регулирование напряжения в электрических сетях.....                         | 9  |
| 1.2.8. Защита и автоматика в системах электроснабжения.....                        | 9  |
| 1.2.9. Эксплуатация систем электроснабжения с/х районов.....                       | 10 |
| 2. ЗАДАНИЕ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ .....  | 11 |
| 2.1. Характеристика электрифицированного объекта .....                             | 11 |
| 2.2. Характеристика расчетной схемы .....  | 11 |
| 2.3. Варианты задания .....  | 12 |
| 2.4. Содержание контрольной работы .....   | 13 |
| 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ<br>КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ .....                 | 14 |
| 3.1. Расчет электрических нагрузок.....  | 14 |
| 3.2. Выбор элементов электрической сети .....                                      | 17 |
| 3.2.1. Выбор мощности трансформатора .....   | 17 |
| 3.2.2. Расчет сечения проводников линий электропередачи.....                       | 17 |
| 3.2.3. Выбор электрических аппаратов .....   | 19 |
| 3.3. Вопросы по контрольной работе.....  | 20 |
| 4. ВОПРОСЫ ДЛЯ ЭКЗАМЕНА (в форме собеседования).....                               | 21 |
| Библиографический список .....   | 22 |

## ВВЕДЕНИЕ

Электроснабжение – это процесс производства, преобразования, передачи и распределения электрической энергии среди электроприемников в электрифицированной жизнедеятельности человека, т.е. по сути это процесс обеспечения электроприемников электрической энергией. Получая электрическую энергию, электроприемники преобразуют её в другие виды (механическую, тепловую, лучистую и т.д.). В настоящее время, когда электрическая энергия проникла во все сферы жизни человека и появилась потребность в огромных её количествах, в большинстве случаев её производство осуществляется централизованно – электроэнергетической системой. В этих условиях задача электроснабжения – передача, преобразование и распределение электрической энергии, которая реализуется так называемой системой электроснабжения.

Указанная сфера деятельности человека - производство электрической энергии на промышленной основе (в электроэнергетических системах) и доведение её до электроприемников системами электроснабжения – относится к электроэнергетике, объединяющей различные формы собственности технических средств. Несмотря на многообразие систем электроснабжения, можно сформировать понятие некоторой типовой структуры системы электроснабжения, имеющей наибольшее распространение в жизни.

В решении вопросов электроснабжения, естественно, необходимо учитывать особенности потребителя как совокупности электроприемников: надежность его электроснабжения, территориальное расположение и плотность электрических нагрузок, технологические взаимосвязи между электроприемниками. При этом важное значение имеет оценка расчетных электрических нагрузок, которые определяют мощности элементов системы электроснабжения.

В итоге изучения курса «Электроснабжение» необходимо

**знать:**

- основные требования ГОСТов, ПУЭ, нормативных и руководящих материалов по проектированию систем электроснабжения;
- особенности систем электроснабжения сельскохозяйственных районов;
- современные методы расчетов электрических сетей с учетом технических требований и экономического обоснования;
- устройство высоковольтного и низковольтного электротехнического оборудования;
- методы расчета токов коротких замыканий и проверки элементов систем электроснабжения на термическую и динамическую устойчивость.

**уметь:**

- оценивать электрические нагрузки на элементы электрических сетей;
- производить диагностику аварийных ситуаций;
- выбирать элементы электрических сетей в соответствии с требованиями ПУЭ и нормативной документации;
- управлять режимами работы системы электроснабжения с целью улучшения качества электроэнергии и повышения технико-экономических показателей.

**владеть:**

- современными технологиями проектирования и монтажа систем электроснабжения сельскохозяйственных районов.

# **1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ И РАЗДЕЛОВ КУРСА**

## **1.1. Цель и задачи курса**

Дисциплина ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ предназначена для того, чтобы дать будущим бакалаврам знания по методике исследования, расчета и практическому применению теоретических основ системы электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

В соответствии с назначением основной целью дисциплины является формирование у будущих бакалавров системы знаний и практических навыков для решения профессиональных задач электроснабжения сельского хозяйства.

Исходя из цели, в процессе изучения дисциплины решаются следующие задачи:

- Освоение современных методов проектирования систем электроснабжения сельскохозяйственных объектов;
- Знакомство с конструкциями элементов систем электроснабжения сельского хозяйства и принципами их монтажа;
- Изучение основ эксплуатации сельских электрических сетей напряжением 0,38 – 110 кВ.

## **1.2. Общие методические рекомендации по изучению курса «Электроснабжение»**

### **1.2.1. Введение**

Необходимо ознакомиться с задачами электрификации и электроснабжения, рассмотреть особенность электроснабжения сельскохозяйственных районов России. При этом затрагиваются такие понятия как электроприемники и потребители электрической энергии, изучить их классификацию.

Необходимо рассмотреть обобщенную структуру системы электроснабжения: центр электрического питания (ГПП, ЦРП); высоковольтная распределительная сеть; трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ; низковольтная распределительная сеть.

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Что такое приемник и потребитель электрической энергии?
2. Что понимается под электрификацией жизнедеятельности человека?
3. Как классифицируются потребители электроэнергии по надежности электроснабжения?
4. Чем обосновано деление электроприемников по напряжению до и свыше 1000 В?
5. Какие бывают режимы работы электроприемников?
6. Что характеризует коэффициент продолжительности включения?
7. Что такое электропривод с точки зрения приемника электрической энергии?
8. Что такое система электроснабжения?
9. Что такое граница раздела балансовой принадлежности электрических сетей?
10. Что такое центр электропитания систем электроснабжения?
11. Приведите классификацию центров электропитания и покажите их связь с напряжением питающих сетей.

12. Перечислите основные структурные части системы электроснабжения предприятия.

13. Какова роль распределительных пунктов в распределительных сетях системы электроснабжения?

### 1.2.2. Схемные решения элементов системы электроснабжения

Изучить принципы построения принципиальных схем структурных частей системы электроснабжения: центр электрического питания (ГПП, ЦРП); высоковольтная распределительная сеть; трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ; низковольтная распределительная сеть.

Проанализировать типовые схемные решения указанных структур, рассмотреть их особенности и конструктивное исполнение.

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Укажите все возможные схемы распределительного устройства высокого напряжения главных понизительных подстанций.

2. Когда применяется глухое подключение питающей линии к силовому трансформатору ТП 10/0,4 кВ?

3. Какие бывают схемы распределительного устройства высокого напряжения ТП 10/0,4 кВ?

4. Какой способ размещения трансформаторных подстанций является наиболее экономичным?

5. Чем отличается схема электрической сети с двусторонним питанием от кольцевой схемы?

6. В чем заключаются основные особенности радиальных схем электрических сетей систем электроснабжения в отличие от магистральных?

7. В чем состоит назначение распределительных пунктов низковольтных распределительных сетей?

8. Перечислите типовые схемы распределительных сетей.

9. Перечислите виды конструктивной реализации кабельных линий.

10. Перечислите виды конструктивной реализации линий электропередачи до 1000 В.

11. Из каких структурных частей состоит трансформаторная подстанция?

12. Какие виды комплектного оборудования используются для реализации распределительных устройств напряжением 10 кВ?

### 1.2.3. Электрические нагрузки

Ознакомиться с понятием электрической нагрузки и расчетной нагрузки. Рассмотреть расчетную нагрузку как эквивалентную по нагреву. Ознакомиться с методами определения расчетной нагрузки, проанализировать особенности оценки расчетной нагрузки для сельскохозяйственных районов.

Рассмотреть принципы построения графиков электрической нагрузки, ознакомиться с численной оценкой их характеристик.

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Что такое электрическая нагрузка?
2. В чем заключается понятие расчетной нагрузки?
3. Что такое принцип максимума средней нагрузки?
4. Назовите три вида допустимой температуры перегрева элемента электрической сети.
5. В чем заключается физический смысл постоянной времени нагрева элемента электрической сети?
6. Какие величины электрической нагрузки являются расчетными для проводников и трансформаторов?
7. Перечислите методы оценки расчетной нагрузки и дайте их краткую характеристику.
8. Представление электрической нагрузки графиком, его числовые характеристики.

### **1.2.4. Выбор и проверка элементов системы электроснабжения**

Изучить вопросы связанные с выбором сечения проводников линий электропередачи по: допустимому току, экономической плотности тока, допустимой потере напряжения, механической прочности, потере на корону. Рассмотреть принципы оценки мощности трансформаторов и критерии выбора электрических аппаратов. Изучить методику проверки оборудования электрических сетей на термическое и электродинамическое действия токов коротких замыканий.

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Чем определяется количество трансформаторов на подстанциях?
2. Поясните физический смысл перегрузочной способности трансформаторов.
3. Как определяется наилучшее место установки подстанции на территории потребителя?
4. Что понимается под номинальной мощностью трансформатора?
5. Перечислите критерии выбора сечения линии электропередачи исходя из условий нормального режима работы.
6. Чем определяется допустимая токовая нагрузка на линию электропередачи?
7. Чем обоснован критерий выбора сечения линии электропередачи по допустимой потере напряжения?
8. Чем обоснован критерий выбора сечения линии электропередачи по экономической плотности тока?
9. Как влияет способ прокладки проводника на его длительно допустимый ток?
10. Что такое электрический аппарат?
11. В чем состоит функциональное назначение автоматического выключателя, предохранителя, рубильника?
12. В чем заключаются особенности применения автоматических выключателей вместо предохранителей?
13. Перечислите условия выбора электрических аппаратов.
14. Поясните смысл времятоковых характеристик защитных аппаратов.

15. В чем состоит принципиальное отличие автоматических выключателей от неавтоматических?
16. В чем состоят основные причины возникновения коротких замыканий?
17. Какие существуют виды коротких замыканий?
18. В чем заключается термическое действие тока короткого замыкания на элемент электрической сети?
19. В чем заключается электродинамическое действие тока короткого замыкания на элемент электрической сети?
20. Что является критерием проверки элементов электрических сетей на термическую стойкость?
21. Что является критерием проверки элементов электрических сетей на электродинамическую стойкость?
22. Что является расчетной точкой и какой вид короткого замыкания принимается при проверке элементов электрических сетей на термическую и электродинамическую устойчивость?
23. Для решения каких задач рассчитываются токи однофазных коротких замыканий в электрических сетях до 1000 В?
24. В чем заключаются принципы проверки элементов электрических сетей на термическую и электродинамическую устойчивость?

#### 1.2.5. Компенсация реактивной мощности

Рассмотреть понятие реактивной мощности (энергии), её природу, что является потребителем и источником реактивной мощности. Изучить схемы и конструкции источников реактивной мощности. Рассмотреть принципы решения задачи компенсации реактивной мощности при присоединении потребителя к энергоснабжающей организации.

##### ***Вопросы для самопроверки***

1. Что такое реактивная мощность, в чем состоит ее физический смысл?
2. В чем состоит принципиальное отличие реактивной энергии от активной?
3. Поясните понятия выработки и потребления реактивной энергии.
4. Какие физические устройства являются потребителями реактивной энергии?
5. Перечислите источники реактивной энергии и дайте их сравнительную характеристику.
6. В чем состоит смысл компенсации реактивной мощности?
7. Поясните преимущества и недостатки индивидуальной компенсации реактивной мощности.
8. Поясните принцип решения задачи компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения.
9. Почему в конденсаторных установках конденсаторы соединяются по схеме «треугольник», а не «звезда»?
10. С какой целью выполняется регулирование мощности компенсирующих устройств?

#### 1.2.6. Качество электрической энергии



Ознакомиться с понятием качества электрической энергии, свойствами напряжения, определяющие её качество. Изучить показатели качества электрической энергии в соответствии с ГОСТ 32144-2013: отклонение и колебание напряжения; несинусоидальность напряжения; несимметрия трехфазных напряжений; отклонение частоты. Проанализировать причины ухудшения качества электроэнергии и пути его улучшения.

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. В чем состоят качественные свойства электрической энергии?
2. Чем характеризуется электромагнитная совместимость системы электроснабжения с электрифицированным технологическим процессом?
3. В каких узлах электрической сети оценивается качество электрической энергии?
4. В виде каких значений оцениваются показатели качества электрической энергии?
5. Перечислите показатели качества электрической энергии.
6. Каковы допустимые и предельно допустимые отклонения напряжения?
7. Каковы допустимые и предельно допустимые значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения?
8. Какими параметрами характеризуется степень несимметрии трехфазной системы напряжений и каковы их допустимые и предельно допустимые значения?
9. Что такое доза фликера?
10. Чем отличаются провал и импульс напряжения от отклонения напряжения?

#### **1.2.7. Регулирование напряжения в электрических сетях**

Изучить технические средства регулирования напряжения и принципы их использования в электрических сетях сельскохозяйственных районов. Проанализировать методы регулирования напряжения.

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Каковы принципы расчета режима электрической сети по напряжению?
2. Каковы причины, приводящие к отклонению напряжения в узле электрической нагрузки?
3. Назовите технические средства регулирования напряжения в системах электроснабжения.
4. Поясните смысл местного и централизованного регулирования напряжения в системах электроснабжения.
5. Что такое РПН и ПБВ, в чем их различие и какую функцию они выполняют?

#### **1.2.8. Защита и автоматика в системах электроснабжения**

Ознакомиться с назначением релейной защиты и автоматики в системах электроснабжения. Изучить принципы выбора трансформаторов тока и трансформаторов напряжения. Изучить защиту линий электропередачи и трансформаторов, защиту электрических сетей до 1000 В.

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Каково назначение релейной защиты и автоматики в системах электроснабжения?

2. Как выбираются трансформаторы тока и трансформаторы напряжения, их назначение.

3. Каковы причины возникновения режимов перегрузки и коротких замыканий систем электроснабжения?

4. Как защищаются трансформаторы напряжением 10/0,4 кВв системах электроснабжения от ненормальных режимов?

5. Назначение и защитная характеристика максимально-токовой защиты (МТЗ).

6. Пояснить принцип работы МТЗ по принципиальной схеме.

7. Назначение и защитная характеристика токовой отсечки (ТО).

6. Пояснить принцип работы ТО по принципиальной схеме.

7. Как реализуется защита от ненормальных режимов в сетях напряжением до 1000 В?

#### 1.2.9. Эксплуатация систем электроснабжения с/х районов

Каковы цели и задачи эксплуатации систем электроснабжения? Назначение и проведение планово-предупредительных ремонтов. Рассмотреть технические средства и методы диагностики элементов электрических сетей.

##### ***Вопросы для самопроверки***

1. Какова цель эксплуатации системы электроснабжения?

2. Что такое планово-предупредительные ремонты и каково их назначение?

3. Дать характеристику техническим средствам диагностики элементов электрических сетей.

## 2. ЗАДАНИЕ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

### 2.1. Характеристика электрифицированного объекта

Электрифицированным объектом жизнедеятельности человека для реализации задачи контрольной работы является фрагмент населенного пункта сельскохозяйственного района. Потребители электроэнергии – жилые дома одноэтажной застройки, а также объекты социально-культурного и бытового назначения. Их количество и территориальное расположение определено зоной обслуживания от одной трансформаторной подстанции напряжениями 10/0,4 кВ.

Дополнительной нагрузкой на трансформаторную подстанцию является нагрузка уличного электрического освещения.

Указанные объекты являются потребителями III категории по надежности электроснабжения.

### 2.2. Характеристика расчетной схемы

Для выполнения контрольной работы в качестве исходной информации задана расчетная схема (рис. 2.1) как фрагмент системы электроснабжения. Указанный электрифицированный объект получает электроэнергию от проходящей мимо поселка воздушной линии электропередачи напряжением 10 кВ (ВЛЭП-10 кВ). На территории объекта электроснабжения располагается однотрансформаторная подстанция, т.к. потребитель относится к III категории по надежности электроснабжения. Подстанция состоит из элементов: разъединителя QS2 и предохранителя FU, относящихся к распределительному устройству напряжением 10 кВ; рубильника QS3 и автоматического выключателя QF, относящихся к распределительному устройству напряжением 0,4 кВ; трансформатора Т. От вышеназванной ВЛЭП-10 кВ, которая является источником питания, к подстанции идет так называемая отпайка, выполненная также воздушной линией электропередачи. Эта отпайка присоединяется к существующей ВЛЭП-10 кВ с помощью разъединителя QS1. В качестве распределительной электрической сети до 1000 В представлена ВЛЭП-0,38 кВ.

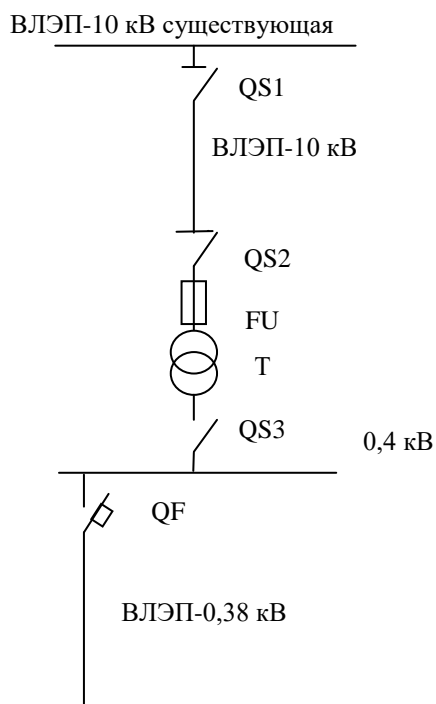


Рис. 2.1. Расчетная схема

### 2.3. Варианты задания

Перечень потребителей электроэнергии для каждого варианта по подстанции представлен в табл. 2.1. В их число входят: жилые дома, расчетные нагрузки которых определяются по справочной литературе; социально-культурные и бытовые потребители, расчетные нагрузки на вводах которых приведены в табл.2.2; электрическое освещение улиц, нагрузка которого определяется исходя из удельной мощности осветительных установок, необходимой для достижения определенной нормы освещения (справочная информация).

Таблица 2.1

Электрические нагрузки по подстанции

| Вариант | Количество жилых домов | Длина освещаемых улиц, км | Ширина проезжей части, м | Потребитель  |
|---------|------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------|
| 1       | 80                     | 4,0                       | 6                        | Почта        |
| 2       | 90                     | 5,0                       | 10                       | Аптека       |
| 3       | 85                     | 4,3                       | 6                        | Магазин      |
| 4       | 95                     | 4,5                       | 10                       | Детские ясли |
| 5       | 97                     | 4,8                       | 6                        | Детский сад  |
| 6       | 88                     | 3,8                       | 10                       | Почта        |
| 7       | 100                    | 5,4                       | 6                        | Аптека       |
| 8       | 110                    | 5,6                       | 10                       | Магазин      |
| 9       | 105                    | 5,2                       | 6                        | Детские ясли |
| 10      | 83                     | 4,1                       | 10                       | Детский сад  |
| 11      | 86                     | 4,2                       | 6                        | Почта        |
| 12      | 92                     | 5,5                       | 10                       | Аптека       |
| 13      | 98                     | 4,5                       | 6                        | Магазин      |
| 14      | 103                    | 4,8                       | 10                       | Детские ясли |
| 15      | 108                    | 4,8                       | 6                        | Детский сад  |
| 16      | 84                     | 3,8                       | 10                       | Почта        |
| 17      | 94                     | 5,6                       | 6                        | Аптека       |
| 18      | 87                     | 5,4                       | 10                       | Магазин      |
| 19      | 96                     | 5,2                       | 6                        | Детские ясли |
| 20      | 102                    | 4,6                       | 10                       | Детский сад  |

Таблица 2.2

Расчетные нагрузки на вводе потребителей

| Наименование | $P_p$ , кВт | $Q_p$ , квар |
|--------------|-------------|--------------|
| Почта        | 4           | 3            |
| Аптека       | 3           | 2            |
| Магазин      | 5           | 4            |
| Детские ясли | 6           | 5            |
| Детский сад  | 7           | 6            |

Информация о потребителях электроэнергии, а также длине линии электропередачи напряжением 0,38 кВ, к которой подключены указанные потребители, представлена в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Электрические нагрузки для ВЛЭП-0,38кВ

| Вариант | Длина линии, км | Количество жилых домов | Потребитель  |
|---------|-----------------|------------------------|--------------|
| 1       | 0,50            | 25                     | Почта        |
| 2       | 0,55            | 28                     | Аптека       |
| 3       | 0,60            | 30                     | Магазин      |
| 4       | 0,53            | 35                     | Детские ясли |
| 5       | 0,48            | 31                     | Детский сад  |
| 6       | 0,45            | 33                     | Почта        |
| 7       | 0,62            | 36                     | Аптека       |
| 8       | 0,59            | 34                     | Магазин      |
| 9       | 0,49            | 37                     | Детские ясли |
| 10      | 0,44            | 26                     | Детский сад  |
| 11      | 0,48            | 32                     | Почта        |
| 12      | 0,53            | 28                     | Аптека       |
| 13      | 0,57            | 30                     | Магазин      |
| 14      | 0,64            | 35                     | Детские ясли |
| 15      | 0,66            | 36                     | Детский сад  |
| 16      | 0,61            | 34                     | Почта        |
| 17      | 0,57            | 34                     | Аптека       |
| 18      | 0,60            | 37                     | Магазин      |
| 19      | 0,52            | 26                     | Детские ясли |
| 20      | 0,58            | 29                     | Детский сад  |

## 2.4. Содержание контрольной работы

Расчетно-пояснительная записка контрольной работы должна иметь следующее содержание:

### ВВЕДЕНИЕ

#### 1. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

- 1.1. Расчет электрических нагрузок жилого сектора
- 1.2. Расчет электрической нагрузки уличного освещения
- 1.3. Расчет электрической нагрузки по подстанции и ВЛЭП-0,38 кВ

#### 2. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

- 2.1. Выбор мощности трансформатора
- 2.2. Расчет сечения проводников линий электропередачи
- 2.3. Выбор электрических аппаратов

Список использованных источников

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

#### 3.1. Расчет электрических нагрузок

При проектировании систем электроснабжения особое значение имеет оценка расчетных нагрузок, на основании которых определяются мощности элементов электрических сетей. Здесь под расчетной нагрузкой понимается такая постоянная во времени величина, которая эквивалентна по максимальному нагреву элемента электрической сети реальной его загрузке в наиболее загруженный период года и суток.

Исходной информацией для оценки расчетной нагрузки являются нагрузки на вводах к потребителям, которыми в контрольной работе являются жилые дома, общественные и коммунальные потребители.

Сельским жилым домом при расчете электрических нагрузок считается многоквартирный дом или квартира в многоквартирном доме, имеющие отдельный счетчик электроэнергии.

Расчетная нагрузка на дом принимается равной:

- в населенных пунктах преимущественно старой застройки с газификацией – 1,5 кВт, без газификации – 1,8 кВт;
- в пунктах преимущественно новой застройки с газификацией – 1,8 кВт, без газификации – 2,2 кВт;
- в благоустроенных квартирах поселков городского типа, поселков при животноводческих комплексах, птицефабриках и тепличных комбинатах с газификацией – 4 кВт, без газификации – 5 кВт.

В сельских населенных пунктах нагрузки уличного освещения играют существенную роль. Они определяются по нормам, приведенным в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Нормы нагрузок уличного освещения

| Характеристика улицы  | Норма освещенности, лк | Удельная мощность, Вт/м |
|---|------------------------|-------------------------|
| Поселковые улицы с асфальтированными и переходными типами покрытий при ширине проезжей части, м |                        |                         |
| 5-7   | 4                      | 4,5-11                  |
| 9-12  | 4                      | 6-13                    |
| То же с покрытиями простейшего типа при ширине проезжей части, м                                |                        |                         |
| 5-7   | 2                      | 5,5                     |
| 9-12  | 2                      | 7                       |
| Улицы и дороги местного значения и пешеходные шириной, м  |                        |                         |
| 5-7   | 1                      | 3                       |
| 9-12  | 1                      | 4,5                     |

Расчет электрических нагрузок в сетях 0,38 кВ производится суммированием нагрузок на вводе или на участках сети с учетом коэффициентов одновременности отдельно для дневного и для вечернего максимумов нагрузки.

Максимумы нагрузок потребителей в населенном пункте сельскохозяйственного района: жилые дома, детские и административные учреждения, общественные и коммунальные предприятия и т.д., реализуются практически в один и тот же период времени – вечер рабочего дня зимнего периода. Поэтому расчет электрических нагрузок можно производить без деления на дневной и вечерний максимумы.

Тогда расчетная нагрузка на участке линии или на шинах трансформаторной подстанции для однородных потребителей (жилые квартиры) определится по выражению

$$P_{\text{ж}} = K_{\text{О}} \sum_{i=1}^n P_i,$$

где  $K_{\text{О}}$  – коэффициент одновременности, принимаемый по табл. 3.2;  $P_i$  – расчетная нагрузка на вводе  $i$ -го потребителя или  $i$ -го участка сети.

Расчетная реактивная нагрузка для жилых квартир (при  $\cos\varphi=0,98$ ) определится по выражению  $Q_{\text{ж}} = P_{\text{ж}} \cdot \text{tg } \varphi$ .

Таблица 3.2

Коэффициенты одновременности для электрических нагрузок в сетях 0,38 кВ

| Потребители  | Количество потребителей |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                   |
|--|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------|
|  | 2                       | 3    | 5    | 7    | 10   | 15   | 20   | 50   | 100  | 200  | 500<br>и<br>более |
| Жилые дома с<br>удельной нагрузкой<br>на вводе<br>до 2 кВт/дом   | 0,76                    | 0,66 | 0,55 | 0,49 | 0,44 | 0,4  | 0,37 | 0,3  | 0,26 | 0,24 | 0,22              |
|  | 0,75                    | 0,64 | 0,53 | 0,47 | 0,42 | 0,37 | 0,34 | 0,27 | 0,24 | 0,2  | 0,18              |
| Жилые дома с<br>электрическими<br>плитами и<br>водонагревателями | 0,73                    | 0,62 | 0,5  | 0,43 | 0,38 | 0,32 | 0,29 | 0,22 | 0,17 | 0,15 | 0,12              |

Если нагрузки однородных потребителей отличаются по значению более чем в 4 раза, то суммирование их рекомендуется производить не с учетом коэффициента одновременности, а по табл. 3.3 – попарно. По этой таблице производится суммирование разнородных нагрузок – бытовой и учреждений (см. табл. 2.2).

Так, например, для двух нагрузок  $P_{\text{ж}}$  и  $P_{\text{м}}$  (большой и меньшей) суммарная нагрузка определяется по выражению

$$P_{\text{р}} = P_{\text{ж}} + \Delta P_{\text{м}},$$

где  $\Delta P_{\text{м}}$  определено по табл. 6 для меньшей нагрузки  $P_{\text{м}}$ .

Аналогично для реактивной мощности

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{ж}} + \Delta Q,$$

где  $\Delta Q$  определено по табл. 3.3 на основе информации из табл. 2.2.

Нагрузка уличного освещения определяется мощностью и количеством ламп, реализующих уличное освещение. Освещение улиц выполняется по удельной мощности

осветительных установок ( $P_{yo}$ ), которую определяют исходя из норм освещённости (табл. 3.1). Тогда активная мощность уличного освещения при длине  $L_y$  равна  $P_{осв} = P_{yo} \cdot L_y$ .

Таблица 3.3

Суммирование нагрузок в сетях 0,38 кВ

| Р   | ΔР   | Р  | ΔР   | Р  | ΔР   | Р   | ΔР  | Р   | ΔР  | Р   | ΔР  |
|-----|------|----|------|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1   | 2    | 1  | 2    | 1  | 2    | 1   | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   |
| 0,2 | 0,2  | 19 | 11,8 | 52 | 33,4 | 100 | 69  | 166 | 120 | 232 | 176 |
| 0,3 | 0,2  | 20 | 12,5 | 53 | 36,1 | 102 | 70  | 168 | 122 | 234 | 177 |
| 0,4 | 0,3  | 21 | 13,1 | 54 | 36,8 | 104 | 72  | 170 | 123 | 236 | 179 |
| 0,5 | 0,3  | 22 | 13,8 | 55 | 37,5 | 106 | 73  | 172 | 124 | 238 | 180 |
| 0,6 | 0,4  | 23 | 14,4 | 56 | 38,2 | 108 | 75  | 174 | 126 | 240 | 182 |
| 0,8 | 0,5  | 24 | 15   | 57 | 38,9 | 110 | 76  | 176 | 127 | 242 | 184 |
| 1   | 0,6  | 25 | 15,7 | 58 | 39,6 | 112 | 78  | 178 | 129 | 244 | 185 |
| 1,5 | 0,9  | 26 | 16,4 | 59 | 40,3 | 114 | 80  | 180 | 130 | 246 | 187 |
| 2   | 1,2  | 27 | 17   | 60 | 41   | 116 | 81  | 182 | 132 | 248 | 188 |
| 2,5 | 1,5  | 28 | 17,7 | 61 | 41,7 | 118 | 82  | 184 | 134 | 250 | 190 |
| 3   | 1,8  | 29 | 18,4 | 62 | 42,4 | 120 | 84  | 186 | 136 | 252 | 192 |
| 3,5 | 2,1  | 30 | 19   | 63 | 43,1 | 122 | 86  | 188 | 138 | 254 | 193 |
| 4   | 2,4  | 31 | 19,7 | 64 | 43,8 | 124 | 87  | 190 | 140 | 256 | 195 |
| 4,5 | 2,7  | 32 | 20,4 | 65 | 44,5 | 126 | 89  | 192 | 142 | 258 | 196 |
| 5   | 3    | 33 | 21,2 | 66 | 45,2 | 128 | 90  | 194 | 144 | 260 | 198 |
| 5,5 | 3,3  | 34 | 22   | 67 | 45,9 | 130 | 92  | 196 | 146 | 262 | 200 |
| 6   | 3,6  | 35 | 22,8 | 68 | 46,6 | 132 | 94  | 198 | 148 | 264 | 201 |
| 6,5 | 3,9  | 36 | 23,5 | 69 | 47,3 | 134 | 95  | 200 | 150 | 266 | 203 |
| 7   | 4,2  | 37 | 24,2 | 70 | 48   | 136 | 97  | 202 | 152 | 268 | 204 |
| 7,5 | 4,5  | 38 | 25   | 72 | 49,4 | 138 | 98  | 204 | 153 | 270 | 206 |
| 8   | 4,8  | 39 | 25,8 | 74 | 50,2 | 140 | 100 | 206 | 155 | 272 | 208 |
| 8,5 | 5,1  | 40 | 26,5 | 76 | 52,2 | 142 | 102 | 208 | 156 | 274 | 209 |
| 9   | 5,5  | 41 | 27,2 | 78 | 53,6 | 144 | 103 | 210 | 158 | 276 | 211 |
| 9,5 | 5,7  | 42 | 28   | 80 | 55   | 146 | 105 | 212 | 160 | 278 | 212 |
| 10  | 6    | 43 | 28,8 | 82 | 56,4 | 148 | 106 | 214 | 161 | 280 | 214 |
| 11  | 5,7  | 44 | 29,5 | 84 | 57,8 | 150 | 108 | 216 | 163 | 282 | 216 |
| 12  | 7,3  | 45 | 30,2 | 86 | 59,2 | 152 | 110 | 218 | 164 | 284 | 217 |
| 13  | 7,9  | 46 | 31   | 88 | 60,6 | 154 | 111 | 220 | 166 | 286 | 219 |
| 14  | 8,5  | 47 | 31,8 | 90 | 62   | 156 | 113 | 222 | 168 | 288 | 220 |
| 15  | 9,2  | 48 | 32,5 | 92 | 63,4 | 158 | 114 | 224 | 169 | 290 | 222 |
| 16  | 9,8  | 49 | 33,2 | 94 | 64,8 | 160 | 116 | 226 | 171 | 292 | 224 |
| 17  | 10,5 | 50 | 34   | 96 | 66,2 | 162 | 117 | 228 | 172 | 294 | 225 |
| 18  | 11,2 | 51 | 34,7 | 98 | 67,6 | 164 | 119 | 230 | 174 | 296 | 227 |



Принимаются для освещения лампы ДРЛ мощностью 250 Вт, определяется целое число светильников и на основании этого корректируется расчетная мощность освещения. Реактивная мощность осветительных установок будет определена на основе паспортных данных осветительной установки при  $\cos\varphi=0,85$ :

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \operatorname{tg} \varphi .$$

Тогда суммарная мощность по подстанции равна:

$$P_{\text{ТП}} = P_{\text{р}} + P_{\text{осв}};$$

$$Q_{\text{ТП}} = Q_{\text{р}} + Q_{\text{осв}};$$

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

### **3.2. Выбор элементов электрической сети**

#### **3.2.1. Выбор мощности трансформатора**

В основе выбора мощности трансформаторов лежит их перегрузочная способность, которая заключается в том, что трансформатор, работая в часы минимальных нагрузок и имея температуру перегрева ниже длительно допустимой, может быть перегружен в часы максимальных нагрузок, т.к. обладает большой тепловой инерционностью. Но при этом величина перегрузки и длительность её действия не должны привести трансформатор к перегреву свыше длительно допустимой температуры.

Существует методика выбора мощности трансформаторов по перегрузочной способности, отраженная в ГОСТ 14209-85 (Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов). В этом стандарте для трансформаторов с соответствующими системами охлаждения взаимосвязаны между собой: коэффициент загрузки трансформатора в часы минимальных нагрузок; коэффициент перегрузки в часы максимальных нагрузок; допустимая длительность перегрузки. При этом суточный график нагрузки перестраивается в эквивалентный двухступенчатый.

Для наиболее распространенных потребителей, работающих по односменному режиму работы, в практике проектирования систем электроснабжения часто пользуются упрощенной методикой выбора мощности трансформаторов, которая выработана на основе оценки мощности по перегрузочной способности. Так, для однотрансформаторных подстанций номинальная мощность трансформатора оценивается по условию

$$S_{\text{НТ}} > S_{\text{см}} ,$$

где  $S_{\text{см}}$  – средняя за наиболее загруженную смену мощность нагрузки (для указанного выше графика нагрузки это период с 8 до 16 ч).

#### **3.2.2. Расчет сечения проводников линий электропередачи**

Выбор сечения проводов и кабелей, исходя из условия нормального режима работы, производится:

- по наибольшему длительно допустимому току нагрузки по условиям нагрева;
- по допустимой потере напряжения;
- по экономической плотности тока.

Длительно протекающий по проводнику ток, при котором устанавливается длительнодопустимая температура нагрева, называется допустимым током по нагреву  $I_{\text{д}}$ . Величина его зависит как от марки проводникового материала, так и от условий прокладки и температуры окружающей среды.

Длительно допустимые токи нагрузки проводов и кабелей указаны в таблицах правил устройства электроустановок (ПУЭ)[4].

Выбор сечения проводника по нагреву длительным током нагрузки сводится к сравнению расчетного тока  $I_p$  с допустимым табличным значением для принятых марок проводов и кабелей и условий их прокладки. При выборе должно соблюдаться условие

$$I_p < I_{д.}$$

Выбор сечения проводника только по нагреву допустимым током приводит к большим потерям активной мощности в ЛЭП и значительной потере напряжения. Поэтому для окончательного выбора сечения следует провести все расчеты, требуемые ПУЭ, и принять наибольшее, определенное этими расчетами сечение проводника.

Выбор сечения по допустимой потере напряжения целесообразно проводить для сетей, где отсутствуют регулирующие устройства. Для систем электроснабжения это сети 0,38 кВ.

Потеря напряжения для линий с подключенной в конце нагрузкой рассчитывается по выражению

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U^2 10} \%,$$

где  $P, Q$  – активная и реактивная составляющие электрической нагрузки, кВт, квар;  $R, X$  – активное и реактивное сопротивление линии, Ом;  $U$  – номинальное напряжение сети, кВ.

Активное и реактивное сопротивления линии определяются исходя из удельных сопротивлений  $r_0, x_0$  и длины линии по выражениям

$$R = r_0 L, X = x_0 L,$$

где  $r_0, x_0$  определяются по табл. 50 [7];  $L$  – половина длины линии, указанной в табл. 3 (для распределительной воздушной линии с равномерно распределенной нагрузкой).

Потеря напряжения до удаленного потребителя, подключенного к распределительной сети 0,38 кВ, не должна превышать 4-6%. Если это условие не соблюдается, то необходимо увеличить сечение, что приводит к уменьшению активного сопротивления и, соответственно, к уменьшению потери напряжения.

Расчет сечения по экономической плотности тока производится для электрических сетей выше 1000 В (для систем электроснабжения это сети 10 кВ).

Экономическое сечение линии электропередачи определяется по выражению

$$S_э = \frac{I_p}{j_э},$$

где  $j_э$  – экономическая плотность тока, нормируемые значения которой для алюминиевых проводов (для Центральной Сибири) приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Экономическая плотность тока

| $T_{м,ч}$     | 1000-3000 | 3000-5000 | Более 5000 |
|---------------|-----------|-----------|------------|
| $j_э, А/мм^2$ | 1,3       | 1,1       | 1,0        |

После расчета экономического сечения принимается ближайшее стандартное.

Выбранные сечения линий электропередачи по вышеприведенным критериям необходимо сопоставить с ограничениями по механической прочности и принять

окончательное решение. В данной контрольной работе проверка линий электропередачи на действия токов коротких замыканий не производится.

### **3.2.3. Выбор электрических аппаратов**

Электрическим аппаратом принято называть электротехническое устройство, предназначенное для управления электрическими и неэлектрическими объектами, а также для защиты этих объектов при ненормальных режимах работы.

Понятие «электрический аппарат» охватывает очень обширный круг всевозможных устройств, применяемых в быту, промышленности и энергетике. В данной контрольной работе речь идет об электрических аппаратах, устанавливаемых в основном потоке электрической энергии, т.е. в потоке от её источников до электрических приемников. Эти аппараты относятся к классу электрических аппаратов распределительных устройств и выбираются по следующим признакам: напряжению, функциональному назначению, номинальному току, по исполнению защиты от окружающей среды, по климатическому исполнению. После выбора по указанным признакам электрические аппараты проверяются на термическое и динамическое действия токов коротких замыканий, т.е. на термическую и динамическую устойчивость.

*Выбор по номинальному напряжению.* Номинальное напряжение аппарата, указанное в паспорте, соответствует уровню его изоляции, причем нормально всегда имеется некоторый запас электрической прочности, позволяющий аппарату неограниченно длительное время работать при напряжении на 10-15% выше номинального. Это напряжение называют максимальным рабочим напряжением аппарата. Так как отклонения напряжения в условиях эксплуатации обычно не превышают 10-15% номинального, то при выборе аппаратов по напряжению достаточно выполнить условие

$$U_{\text{ном.у}} \leq U_{\text{ном.а}}$$

где  $U_{\text{ном.у}}$  – номинальное напряжение установки,  $U_{\text{ном.а}}$  – номинальное напряжение аппарата.

Обычно, исходя из условия электробезопасности организации работ, электрические аппараты по номинальному напряжению разделяют на две группы: аппараты низкого напряжения (с номинальным напряжением до 1000 В) и высокого напряжения (с номинальным напряжением более 1000 В).

*Выбор аппаратов по функциональному назначению* реализуется на этапе обоснования электрических схем, когда на основании соответствующих условий и требований применяются коммутационные аппараты, защитные либо защитно-коммутационные.

*Выбор по номинальному току.* Номинальный ток  $I_{\text{ном.а}}$  аппарата - это ток, который при номинальной температуре окружающей среды может проходить по аппарату неограниченно длительное время и при этом температура наиболее нагретых частей его не превышает длительно допустимых значений.

Правильный выбор аппарата по номинальному току обеспечивает отсутствие опасных перегревов частей аппарата при его длительной работе в нормальном режиме. Для этого необходимо, чтобы максимальный действующий рабочий ток цепи (расчетный ток)  $I_p$  не превышал номинального тока аппарата  $I_p \leq I_{\text{ном.а}}$ .

В данной контрольной работе необходимо выбрать следующие электрические аппараты, указанные на рис.1.1: QS1, QS2 – разъединители; FU - предохранитель; QF – линейный автомат в распределительном устройстве 0,4 кВ ТП.

*Автомат QF выбирается по нагреву максимальным рабочим током*

$$I_{\text{ном. а}} \geq I_p, \quad I_{\text{нр}} \geq 1,25I_p, \quad ,$$

где коэффициент 1,25 – коэффициент запаса;  $I_{\text{нр}}$  – номинальный ток теплового расцепителя.

*Предохранитель FU выбирается по условиям:*

- по напряжению  $U_{\text{пр}} \geq U_{\text{сети}}$ ;
- по номинальному току предохранителя  $I_{\text{н.п}} > I_p$ ;
- по номинальному току плавкой вставки  $I_{\text{н.в}} > K_3 \cdot I_p$ ,  
где  $K_3 = 1,2 \div 1,3$  – коэффициент запаса.

### **3.3. Вопросы по контрольной работе**

1. Особенность электроснабжения сельскохозяйственных районов.
2. Как оцениваются расчетные нагрузки населенных пунктов с/х районов?
3. В чем физический смысл активной электрической энергии?
4. Какой физический смысл реактивной электрической энергии?
5. Как оценивается полная электрическая мощность и каков её физический смысл?
6. Чем определяется количество трансформаторов на подстанциях?
7. Каков принцип оценки мощности трансформаторов?
8. Привести перечень паспортных параметров трансформаторов и пояснить их физический смысл.
9. Какова конструктивная реализация трансформаторных подстанций?
10. Перечислить критерии оценки сечения проводников линий электропередачи, пояснить их применение.
11. Какова конструктивная реализация линий электропередачи?
12. Каково функциональное назначение электрических аппаратов распределительных устройств (разъединителей, рубильников, выключателей нагрузки, предохранителей, выключателей, автоматов)?
13. Перечислить критерии выбора электрических аппаратов, пояснить их применение.

#### **4. ВОПРОСЫ ДЛЯ ЭКЗАМЕНА (в форме собеседования)**

1. Что такое система электроснабжения, ее структурная схема.
2. Центры питания СЭС (ГПП, ЦРП), их схемы и конструктивное исполнение.
3. Высоковольтные распределительные сети СЭС, их схемы и конструктивное исполнение.
4. Трансформаторные подстанции СЭС, их схемы и конструктивное исполнение.
5. Низковольтные распределительные сети СЭС, их схемы и конструктивное исполнение.
6. Распределительные пункты ВВРС и НВРС СЭС, их назначение, схемы и конструктивное исполнение.
7. Понятие расчетной нагрузки. Расчетная нагрузка как эквивалентная по нагреву.
8. Оценка расчетной нагрузки по методу коэффициента одновременности.
9. Метод упорядоченных диаграмм.
10. Графики электрических нагрузок, их числовые характеристики.
11. Оценка потерь мощности и электроэнергии в ЛЭП.
12. Оценка потерь мощности и электроэнергии в трансформаторах.
13. Оценка потерь напряжения в электрической сети СЭС.
14. Выбор и проверка электрических аппаратов.
15. Выбор и проверка проводников линий электропередачи.
16. Выбор количества и мощности трансформаторов ТП.
17. Понятие реактивной мощности (энергии), её природа. Потребители и источники реактивной мощности.
18. Источники реактивной мощности, их схемы и конструкции.
19. Решение задачи компенсации реактивной мощности при присоединении потребителя к энергоснабжающей организации.
20. Отклонения напряжения в соответствии с ГОСТ 32144-2013 (нормирование, причины появления).
21. Колебания напряжения в соответствии с ГОСТ 32144-2013 (нормирование, причины появления, пути уменьшения).
22. Высшие гармоники напряжений в СЭС (нормирование, причины появления, пути устранения).
23. Несимметрия трехфазных напряжений в СЭС в соответствии с ГОСТ 32144-2013 (нормирование, причины появления, пути устранения).
24. Технические средства регулирования напряжения в электрических сетях.
25. Принципы регулирования напряжения.
26. Назначение релейной защиты и автоматики.
27. Выбор трансформаторов тока и трансформаторов напряжения.
28. Защита линий электропередачи и трансформаторов.
29. Защита электрических сетей до 1000 В.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Системы электроснабжения: учеб.* / Н.П. Гужов, В.Я. Ольховский, Д.А. Павлюченко. – Ростов-н/Д: Феникс, 2011.
2. *Князевский Б.А.* Электроснабжение промышленных предприятий / Б.А. Князевский, Б.Ю. Липкин – М.: Высш. шк., 1986.
3. *Ристхейн Э.М.* Электроснабжение промышленных установок: учеб.для вузов. – М.:Энергоатомиздат, 1991.
4. *Правила устройства электроустановок*/ М-во энергетики РФ. – 7-е изд – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.
5. *Справочник по проектированию электроснабжения* / под ред. Ю.Г. Барыбина [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
6. *Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования* / под ред. Ю.Г. Барыбина [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
7. *Шаповалов Н.Ф.* Справочник по расчету электрических сетей. – Киев: Будивельник, 1979.
8. *Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: в 2 т. Т.1: Электроснабжение* / под общ.ред. А.А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
9. *Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: в 2 т. Т.2: Электрооборудование*/ под общ.ред. А.А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
10. *Электротехнический справочник: в 4 т. Т.3: Производство, передача и распределение электрической энергии* / под ред. В.Г. Герасимова [и др.]. – 9-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МЭИ, 2004.
11. *Электроснабжение сельского хозяйства* / И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская, В.И. Сукманов. – М.: Колос, 2000.
12. *Фролов Ю.М., Шелякин В.П.* Основы электроснабжения: учебное пособие. ЭБС «Лань», 2012.

Составитель:  
Гужов Николай Петрович

## ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Методические указания  
для самостоятельной и контрольной работы

Редактор *М.Г. Девищенко*  
Компьютерная верстка *В.Н. Зенина*

Подано в печать «\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Объем 1,4 уч.-изд. л., \_\_\_\_ усл. печ. л.  
Тираж 100 экз. Изд №\_\_ Заказ \_\_\_\_

---

Отпечатано в Издательском центре НГАУ «Золотой колос»  
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, кааб. 106.  
Тел./факс (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru