

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 расчетно-графической работе**

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 расчетно-графической работе 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 от 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. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ.	5
3. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	14

ВВЕДЕНИЕ

Расчётно-графическая работа (РГР) выполняется студентами в рамках самостоятельной работы по определенной теме с целью закрепления знаний и умений, полученных в результате изучения курса «Электроэнергетика».

Расчет суточных и годовых графиков электрических нагрузок

Цель работы: изучить и понять закономерности изменения показателей графиков электрических нагрузок в зависимости от режимов электропотребления.

1. Теоретические положения

1.1. Общие сведения

В настоящее время для обработки информации в системах электроснабжения широкое распространение получают ПЭВМ. Они обладают широкими вычислительными возможностями, поэтому их применяют как для создания информационно-справочных систем и управления технологическими процессами, так и для индивидуального пользования, решения производственных, инженерных и учебных задач.

Главная задача ПЭВМ при решении задач систем электроснабжения сводится к автоматическому выполнению вычислительного процесса, т. к. ПЭВМ является лишь исполнителем алгоритма, записанного в виде программы на понятном для нее языке. Поэтому для решения любой задачи с использованием ПЭВМ необходимо подготовить алгоритм, выполнение которого привело бы к получению требуемых результатов. Заданная алгоритмом последовательность действий должна быть представлена в форме, доступной машине.

Графики нагрузки и способы их записи. Нагрузки, потребляемые из сети как отдельными ЭП, так и их группами, могут быть выражены в единицах мощности (P, Q, S) и тока.

Нагрузки подавляющего большинства электроприемников (ЭП) не остаются постоянными, они изменяются с течением времени. Ввиду очень большого разнообразия ЭП и бесконечного множества их комбинаций в группе эти изменения не могут быть выражены аналитически и обычно представляются в прямоугольной системе координат кривыми или ломаными линиями, называемыми графиками нагрузки. Из сказанного очевидно, что графики могут выражать изменение во времени активной, реактивной, полной мощности или тока. В зависимости от поставленной цели они могут быть сняты и построены для любого промежутка времени – часа, смены, суток, года. Применительно к отдельным ЭП, работающим в длительном режиме, наиболее распространены суточные или сменные графики, а в повторно-кратковременном режиме (ПКР) – цикловые (длительностью, равной одному или нескольким циклам). Режим работы групп ЭП лучше всего прослеживается по суточным или по сменным графикам.

Таким образом, общим математическим выражением любого графика нагрузки, например графика активной мощности P , будет $P=f(t)$, где t – время, отложенное по оси абсцисс.

В практике исследований режимов работы ЭП и их групп применяются различные способы измерений и построения графиков нагрузки: с помощью самопишущих приборов (амперметры, ваттметры, варметры), визуальный отсчет показаний стрелочных приборов через равные промежутки

времени, отсчет показаний счетчиков активной и реактивной энергии через такие же интервалы времени. Выбор способа записи графика нагрузки зависит от цели исследования и ряда местных условий: требуемой мощности измерений, расположения ЭП, наличия щитовых приборов в его цепи, доступности ввода питающей ЭП линии для включения в нее измерительных трансформаторов тока, наличия места и т. п.

Значительная часть ЭП работает в ПКР. Если циклы имеют различную длительность, то в качестве осредненного можно принять график со средней длительностью цикла, равной $t_{ц.с.}=T/N$, где T – общая продолжительность N циклов.

Графики нагрузки, характеризующие режим работы отдельных ЭП, называют индивидуальными. Такие графики в условиях действующих установок снимают, как правило, лишь для крупных ЭП (мощностью в несколько десятков или сотен киловатт). Чаще приходится иметь дело с так называемыми групповыми графиками нагрузки, относящимися к группе ЭП, объединенных одной питающей линией (фидером).

Характер и форма индивидуального графика нагрузки ЭП определяются технологическим процессом. Групповой график представляет собой результат суммирования графиков отдельных ЭП, входящих в группу. Однако даже при одинаковых ЭП их групповой график может принимать различные очертания, в зависимости от ряда случайных факторов, обуславливающих сдвиги во времени работы отдельных ЭП.

При очень большом числе ЭП, входящих в группу, как это бывает в крупных цехах или на предприятиях в целом, суточный график активной мощности приобретает устойчивый характер. Длительные наблюдения за действующими предприятиями позволили составить характерные графики для различных отраслей промышленного производства. Такие графики обычно называют типовыми и строят их в относительных единицах, выражая нагрузки в разные часы суток в процентах от максимальной, принимаемой за 100%. Для пересчета ординат таких графиков в именованные единицы, например в киловатты, необходимо лишь определить абсолютную величину максимума.

Располагая ординаты суточного группового графика в порядке убывания и откладывая по оси абсцисс продолжительность работы при разных нагрузках, получим так называемую упорядоченную диаграмму группового графика. Упорядоченная диаграмма нагрузок, построенная по суточным графикам, характерным для рабочих и выходных дней различных сезонов (зимнего, весенне-осеннего и летнего) образует годовой график нагрузки по продолжительности. Очевидно, что для суточных и годового графиков активной мощности их площадь выражает расход энергии в киловатт-часах за соответствующий период (сутки, год).

1.2. Основные физические величины, характеризующие графики нагрузки

Рассмотрим график электрических нагрузок, приведенный на рисунке 1.1.

Средняя нагрузка за интервал заданной длительности θ выражается формулой (применительно к групповому графику активной мощности)

$$P_{c\theta} = \frac{1}{\theta} \int_{t+\theta} P(t) dt,$$

где $P(t)$ – текущее значение ординат группового графика нагрузки. Аналогичными формулами могут быть представлены полная и реактивная мощности, а также ток.

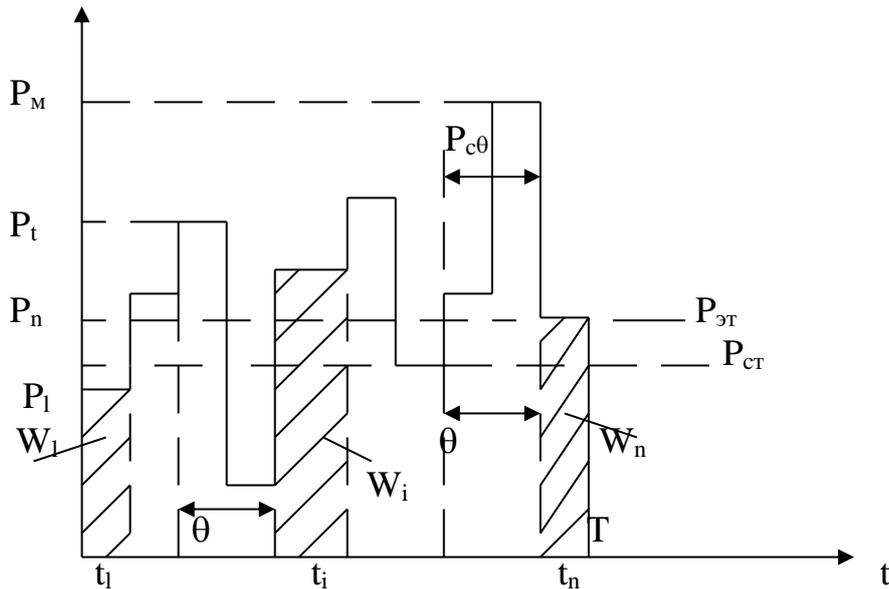


Рисунок - 1.1. Средняя нагрузка за скользящий интервал времени

Среднеквадратическая нагрузка за некоторый интервал времени определяется выражением

$$P_{эГ} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [P(t)]^2 dt} .$$

Среднеквадратическая нагрузка характеризует эффект нагрева проводника током. Поэтому ее часто называют эффективной нагрузкой (отсюда индекс “э” в символе среднеквадратичной нагрузки).

Под максимальной нагрузкой подразумевается абсолютный максимум фактического, индивидуального или группового графика. Представление о величине максимальной нагрузки неразрывно связано с условной продолжительностью максимума, равной интервалу осреднения. Общим обозначением максимума активной нагрузки при интервале осреднения, равном θ , будет $P_{м\theta}$ – так называемой θ -максимум, например, тридцатиминутный $P_{м30}$ или часовой $P_{м60}$. Максимумы, как и сами графики, могут выражать активную, реактивную, полную мощность или ток.

1.3. Показатели графиков электрических нагрузок

В теории электрических нагрузок и ее практических приложениях удобно пользоваться, кроме именованных значений физических величин нагрузок, максимальной, средней и среднеквадратичной, также некоторыми относительными показателями (коэффициентами), характеризующими режим работы отдельных ЭП и их групп. Как и для ранее рассмотренных величин, в обозначениях этих показателей используются буквы латинского алфавита:

строчные – для отдельных ЭП и их индивидуальных графиков, прописные – применительно к групповым графикам.

1. Расход энергии (по рисунку 1.1.)

$$W = \sum_{i=1}^n W_i = \sum_{i=1}^n P_i t_i.$$

2. Средняя мощность

$$P_c = \sum_{i=1}^n W_i / \sum_{i=1}^n t_i.$$

3. Среднеквадратическая мощность

$$P_{ck} = P_{эТ} = \sqrt{\sum_{i=1}^n P_i^2 t_i / \sum_{i=1}^n t_i}.$$

4. Основным показателем режима работы одного или группы ЭП служит коэффициент использования, выражающий отношение средней нагрузки (p_c и P_c) к номинальной (p_n и P_n).

$$k_n = p_c / p_n; \quad K_n = P_c / P_n = \frac{\sum_{i=1}^n p_{ci}}{P_n} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{ui} P_{ni}}{P_n},$$

где P_n – номинальная активная мощность группы ЭП.

5. Степень использования ЭП по времени характеризуется коэффициентом включения. Применительно к одному ЭП этот показатель аналогичен понятию продолжительности включения ПВ:

$$K_B = t_B / (t_B + t_{п}) = t_B / T_{ц} \leq 1.$$

Групповым коэффициентом включения K_B называется средневзвешенное по активной мощности значение индивидуальных коэффициентов включения электроприемников, входящих в группу, т.е.

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n k_{ei} P_{ni}}{\sum_{i=1}^n P_{ni}} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{ei} P_{ni}}{P_n} \leq 1.$$

В отличие от индивидуального, понятия группового коэффициента включения лишено четкого физического смысла и используется лишь в качестве расчетной величины.

6. Коэффициент загрузки отдельного ЭП определяется как отношение средних за время включения активной, реактивной мощности и тока и их номинальным величинам:

$$P_{c.в.} = p_c \frac{t_e}{T_{ц}} = \frac{P_c}{k_e}.$$

Тогда коэффициент загрузки по активной мощности будет

$$k_3 = p_{cв} / p_n = p_c / (k_e p_n) = k_u / k_e.$$

7. Коэффициент формы графика нагрузки – это отношение среднеквадратичной (эффективной) нагрузки к средней за данный период времени:

$$k_{\phi} = p_э / p_c; \quad K_{\phi} = P_э / P_c \geq 1.$$

Аналогичные выражения могут быть написаны для графиков реактивной мощности и тока. Величина коэффициента формы характеризует неравномерность графика. Наименьшее значение этого коэффициента, равное единице, соответствует неизменной во времени нагрузке.

8. Важнейшими расчетными показателями групповых графиков являются коэффициент максимума по активной мощности K_M . Эти коэффициенты представляют собой отношение максимума той или иной продолжительности к соответствующей средней нагрузке той же продолжительности, т.е.

$$K_M = P_M / P_c, \quad P_M = K_M P_c.$$

9. Обратной величиной для коэффициента максимума K_M является коэффициент заполнения (коэффициент нагрузки) группового графика

$$K_z = \frac{P_c}{P_M} \leq 1 \rightarrow K_z = \frac{1}{K_M}$$

Своего предельного значения, равного единице, этот показатель достигает лишь при не изменяющейся во времени нагрузке, чего практически не бывает.

10. Другой, не менее важной величиной, особенно при обследованиях действующих предприятий и групп потребителей, является коэффициент спроса по активной мощности K_c . Этот коэффициент связывает максимум той или иной продолжительности не по средней, а с номинальной мощностью группы ЭП.

$$P_M = K_c P_M \rightarrow K_M = K_c \frac{P_n}{P_c} = \frac{K_c}{K_i} \rightarrow K_c = K_i K_M.$$

11. Число часов использования максимума

$$T_{и} = \sum_{i=1}^n W_i / P_M.$$

Построение годовых графиков по продолжительности на основе суточных, анализ и расчет их показателей требуют внимания и тщательности при выполнении большого объема однотипных вычислений. Поэтому применение ПЭВМ для расчета показателей графиков электрических нагрузок дает значительный выигрыш во времени и обеспечивает более высокую надежность получаемых результатов по сравнению с ручным счетом.

2. Задание для расчетно-графической работы

2.1. Рассчитать по одному из заданных вариантов показатели обобщенных графиков электрических нагрузок.

2.2. На основе исследования различных графиков электрических нагрузок, приведенных ниже, определить параметры, от которых изменяются средняя мощность P_c , среднеквадратичная мощность $P_{ск}$, коэффициенты $K_{зап}$, максимума K_M , формы K_f .

2.3. Рассчитать показатели суточных графиков и обобщенных годовых графиков электрических нагрузок.

2.4.Оформить отчет, сделать выводы и ответить на контрольные вопросы.

3. Контрольные вопросы

1. Чем вызвана необходимость построения графиков электрических нагрузок
2. Что представляет собой график электрических нагрузок ?
3. Чем вызвана нелинейность графика электрических нагрузок ?
4. Каковы способы построения графика электрических нагрузок и в каких точках схемы электроснабжения устанавливают измерительные приборы ?
- 5.Для чего строят суточные графики электрических нагрузок ?
6. Что такое годовой график нагрузки по продолжительности ?
7. Перечислите основные показатели графиков электрических нагрузок.
- 8.Каков физический смысл основных показателей графика электрических нагрузок ?
9. Чем отличаются групповые показатели от индивидуальных ?
10. Укажите на годовом графике нагрузки по продолжительности число часов использования максимума.
11. Укажите диапазоны изменения основных показателей графиков электрических нагрузок. Какие из названных интервалов являются предпочтительными с точки зрения эффективности работы ЭП ?

4. Варианты графиков нагрузок

4.1 Суточные графики электрических нагрузок

Таблица 1 – Исходные данные по вариантам

№	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
1	40	20	50	10	20	30	30	30	10	70	40	10	30	10		
2	60	50	70	20	10	30	50	20	80	90	20	90	100	40		
3	100	50	40	70	50	60	20	50	80	90	30	100	40	20		
4	70	20	100	50	100	60	100	40	40	80	20	90	60	80		
5	50	20	90	70	80	100	100	80	60	50	100	80	40	20		
6	40	40	100	50	70	40	80	80	100	40	30	20	90	20		
7	70	50	80	40	20	10	70	100	100	100	20	20	100	90		
8	80	40	60	70	20	10	40	50	80	60	40	70	40	60		
9	100	50	10	60	70	10	70	70	30	20	100	40	70	60		
10	30	100	20	90	100	20	100	100	70	60	30	10	100	30		
11	20	60	10	100	60	20	60	50	60	60	100	80	70	90		
12	50	60	30	80	80	80	80	40	90	60	50	40	50	100		
13	50	80	60	50	60	100	50	40	20	10	100	30	40	60		
14	60	100	30	20	20	100	50	60	20	80	60	10	90	10		
15	80	80	60	80	40	90	70	60	30	100	60	50	60	70		
16	100	70	20	50	100	70	50	90	60	20	10	60	70	60		
17	70	100	30	60	80	50	70	50	20	10	30	90	90	50		
18	70	100	60	100	100	50	50	60	30	20	40	30	80	100		
19	50	70	70	60	60	40	30	50	90	60	30	90	90	60		
20	30	20	70	80	20	60	50	30	90	90	50	40	40	30		
21	20	20	70	40	50	100	60	80	50	60	100	70	80	50		
22	20	20	80	60	30	100	20	30	20	100	20	100	30	70		
23	30	30	60	30	20	70	50	50	20	60	20	30	30	20		
24	40	30	30	50	10	60	10	60	60	90	80	80	70	40		

Примечание. Продолжительность каждой ступени графика – 1ч

4.2 Годовые графики электрических нагрузок предприятий

Таблица 2 (вариант 1) - Предприятия черной металлургии

N	1	2	3	4	5	6	7
P, %	100	97	95	90	85	75	70
Q, %	100	97	95	90	87	85	83
t, ч	720	700	400	630	490	480	570

Таблица 3 (вариант 2) - Предприятия цветной металлургии

N	1	2	3	4	5	6
P, %	100	97	95	100	93	84
Q, %	100	100	98	80	98	92
t, ч	450	350	630	550	600	530

Таблица 4 (вариант 3) - Предприятия добычи угля

N	1	2	3	4	5	6

P,%	100	95	90	85	80	78
Q,%	100	97	95	94	90	85
t,ч	540	400	700	460	500	460

Таблица 5 (вариант 4) - Торфяные предприятия

N	1	2	3	4	5	6	7
P,%	100	94	90	90	85	70	5
Q,%	100	96	95	93	92	92	15
t,ч	540	260	390	550	610	260	560

Таблица 6 (вариант 5) - Предприятия тяжелого машиностроения

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P,%	100	97	80	75	73	72	70	68	67
Q,%	100	95	90	85	83	82	80	78	75
t,ч	680	350	350	565	610	610	420	615	680

Таблица 7 (вариант 6) - Предприятия станкостроительной промышленности

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P,%	100	100	100	90	90	80	62	50	50	50	45	45
Q,%	100	93	90	90	85	80	80	75	70	45	45	40
t,ч	525	260	350	230	350	950	525	610	610	350	350	440

Таблица 8 (вариант 7) - Предприятия транспортного машиностроения

N	1	2	3	4	5	6	7
P,%	100	90	85	65	87	55	30
Q,%	100	95	90	80	70	65	35
t,ч	525	650	600	700	560	610	350

Таблица 9 (вариант 8) - Предприятия химической промышленности

N	1	2	3	4	5	6
P,%	100	95	85	75	45	37
Q,%	100	97	90	68	65	35
t,ч	600	650	550	680	700	520

Таблица 10 (вариант 9) - Ремонтно – механические предприятия

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P,%	100	95	90	85	80	75	65	55	50	35	20	5
Q,%	100	97	95	93	90	85	85	75	70	57	30	22

%												
t, ч	660	350	580	700	700	660	350	350	350	500	500	660

Таблица 11 (вариант 10) – Предприятий автомобильной промышленности

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P, %	100	96	94	88	82	78	74	77	75	60	78	90
Q, %	100	90	90	80	75	68	65	60	70	52	65	74
t, ч	475	440	560	610	580	450	650	700	350	450	600	540

Таблица 12 (вариант 11) – Предприятия целлюлозно-бумажной промышленности

N	1	2	3	4	5	6	7	8
P, %	90	65	100	75	80	45	65	70
Q, %	82	50	90	68	72	38	56	61
t, ч	400	560	450	560	620	480	670	450

Таблица 13 (вариант 12) – Прядильные и ткацкие фабрики

N	1	2	3	4	5	6	7	8
P, %	76	78	60	90	30	20	45	50
Q, %	65	67	52	81	22	16	36	44
t, ч	340	400	290	560	320	400	350	420

Список рекомендуемой 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.