

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Баламирзоев Назим Лидинович
Должность: Ректор
Дата подписания: 07.07.2025 14:49:02
Уникальный программный ключ:
5cf0d6f89e80f49a334f6a4ba58e91f3326b9926

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Теоретической и общей электротехники

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Режимы
использования установок нетрадиционной возобновляемой энергетики»
для направления подготовки магистров 13.04.02 – Электроэнергетика и
электротехника, программа «Преобразование возобновляемых видов
энергии и установки на их основе»**

Махачкала 2021

УДК

Учебно-методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Режимы использования установок нетрадиционной возобновляемой энергетики» для направления подготовки магистров 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника, программа «Преобразование возобновляемых видов энергии и установки на их основе» – Махачкала, 2021 г. – 36 с.

Методические указания подготовлены на кафедре «Теоретическая и общая электротехника» и предназначены для студентов всех форм обучения при изучении дисциплины: «Режимы использования установок нетрадиционной возобновляемой энергии».

Данные учебно-методические указания являются учебным руководством к выполнению лабораторных работ. Подробно изложены методы расчета основных термодинамических процессов, определение основных параметров водяного пара по диаграммам и таблицам, расчет теплообменных аппаратов, приведены примеры решения задач.

Составители:

Исмаилов Т.А., д.т.н., профессор
Юсуфов Ш.А., к.т.н., доцент
Миспахов И.Ш., к.т.н., ст. лаборант

Рецензенты:

Асланов Г.К., д.т.н., профессор
Османов А.И., гл. инженер ООО «ДагЭнерЖи»

© кафедра «Теоретическая и общая электротехника» ФГБОУ ВО
«Дагестанский государственный технический университет».

Печатается согласно постановлению Ученого Совета ФГБОУ ВО
«Дагестанский государственный технический университет»

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Общие требования и указания по проведению работ	4
Лабораторная работа №1. Исследование суточных графиков электрических нагрузок	6
Лабораторная работа № 2. Формирование и исследование годовых графиков электрических нагрузок	16
Лабораторная работа № 3. Исследование влияния коэффициента реактивной мощности однофазной нагрузки на распределение её активной и реактивной составляющих между фазами.....	24
Список литературы	34
Приложение к лабораторной работе №2	35

ВВЕДЕНИЕ

Привитие студентам навыков к самостоятельной работе и самообучению является одной из важнейших задач, решаемых учебным заведением при подготовке специалистов. Поэтому в учебных планах подготовки будущих специалистов особое внимание уделено практическим, лабораторным и семинарским занятиям по изучаемым дисциплинам. Так, более 50 % от общего объёма часов, отведённых учебным планом на изучение дисциплины «Режимы использования установок нетрадиционной и возобновляемой энергетики», отпущено на самостоятельную работу, и только 15 % – на лекционные занятия.

Учитывая вышесказанное, авторы сочли необходимым поместить в данном учебном пособии к лабораторным работам не только описание работ и исходные данные для их выполнения, но и в сжатой форме изложить теоретический материал, который должен быть освоен студентами при изучении дисциплины и используется при решении задач, поставленных в работах.

В данном учебном пособии приведено описание 3-х лабораторных работ, охватывающих основные разделы дисциплины и полностью соответствующих рабочей программе дисциплины. В описаниях работ кроме исходных данных и необходимых для выполнения работ теоретических положений приведены справочные данные, а также разработанные авторами типовые таблицы, в которые вносятся исходные данные и результаты расчётов.

Внимательное изучение материала, помещённого в учебное пособие, подготовка ответов на контрольные вопросы, приведенные в конце описания каждой работы, будут способствовать успешной сдаче экзамена по дисциплине.

Общие требования и указания по проведению работ

1. Работы выполняются на ПЭВМ бригадами в составе 2-х человек, сформированных до проведения первого занятия. Бригады в составе 3-х человек допускается только при общем количестве студентов в группе более 12-и человек.
2. Работы выполняются фронтальным методом, т. е. все бригады выполняют одну и ту же работу с соответствующим вариантом исходных данных, указанных преподавателем на первом занятии.
3. На выполнение каждой работы отводится 4 академических часа занятий, т. е. две пары, в течение которых студенты должны выполнить все вычислительные эксперименты и оформить отчёт.
4. При условии, когда бригада не успела выполнить работу и оформить отчёт в течение аудиторных занятий, работа должна быть завершена во вне- аудиторное время в домашних условиях или в вычислительном зале кафедры.
5. Отчёт по выполненной лабораторной работе должен быть представлен преподавателю до начала очередной работы. Студенты, не

представившие отчёт по выполненной работе без уважительной причины, к следующей работе не допускаются.

6. Варианты исходных данных к следующей работе бригадам выдаются преподавателем на предыдущем занятии, если они не были выданы на первом занятии.
7. До проведения очередной работы студенты должны быть ознакомлены с описанием содержания работы и иметь заранее подготовленные электронные таблицы, в которых будут проводиться расчёты или заноситься результаты расчётов
8. Студенты, не выполнившие лабораторные работы, к экзамену по дисциплине не допускаются

9. Отчёт должен включать в себя титульный лист и основную часть.

На титульном листе обязательно должно быть указана информация:

- об исполнителях, номере и названии лабораторной работы;
- вариант;
- номер бригады;
- подписи членов бригады и дата выполнения.

Основная часть отчёта должна содержать следующую информацию:

- цель работы;
- исходные данные и основные расчётные выражения;
- построить требуемые в лабораторной работе графики и (или) зависимости.
- результаты расчётов;
- выводы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИССЛЕДОВАНИЕ СУТОЧНЫХ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Цель работы

- привитие навыков определения параметров, используемых при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения (СЭС), по суточным графикам электрических нагрузок отдельных электроприёмников и узлов СЭС;
- проверка адекватности расчётного выражения для определения числа часов максимальных потерь, используемого в практике проектирования электрических сетей.

Общие положения

Известно, что суточные графики нагрузок электроприёмников и узлов СЭС несут в себе надёжную информацию о режимах работы потребителей и электропотреблении ими, обусловленных, главным образом, технологией производства, без учёта которой невозможно создать надёжно работающую и экономически выгодную систему электроснабжения.

Суточные графики электрических нагрузок, как правило, снимаются в характерные сутки года (зимние, летние, осенне-весенние) и сутки недели (рабочие и празднично-выходные). Они, как правило, используются для построения упорядоченных годовых графиков по продолжительности и определения по ним показателей, используемых в технико-экономических расчётах. Однако эти же показатели могут быть определены, не прибегая к построению годовых графиков, используя при этом показатели суточных графиков, снятых в характерные сутки, и сведения об их повторяемости в течение года. Другими словами – применяя нетрадиционный подход.

Вполне очевидным является то, что объём вычислительной работы при этом будет заметно меньше, чем при использовании традиционного подхода, а достоверность получаемых результатов будет определяться правильностью обработки суточных графиков. Поэтому в данной работе уделено внимание обработке и определению показателей суточных графиков электрических нагрузок.

Поскольку работа является учебной, то в ней предлагается определять широкий спектр показателей, включая такие как число часов использования максимумов активной и реактивной нагрузки в течение одних суток соответственно $T_{\text{нм. а}}^{\text{сут}}$ и $T_{\text{нм. р}}^{\text{сут}}$ и число часов

максимальных потерь $\tau_{\text{сут}}$ которые традиционно принято находить за период времени, равному одному году.

Методические указания по выполнению работы

При подготовке к лабораторной работе и для её выполнения изучите теоретические положения, изложенные в [1].

Исходные данные к лабораторной работе приведены к табл. 1.1.

Таблица 1.1

Суточные графики активной и реактивной нагрузок

Варианты суточных графиков нагрузок	Номер интервала времени суток	Длительность интервала времени наблюдения, ч	Нагрузка	
			активная, МВт	реактивная, Мвар
I	1	0–4	2	1,5
	2	4–8	2–5	1,5–3
	3	8–8,3	6	4
	4	8,3–12	5	4
	5	12–16	4	3
	6	16–20	4,5	3,5
	7	20–24	4,5–2	3,5-1,5
II	1	0–2	4	4
	2	2–6	4–8	4–6
	3	6–8	8	6
	4	8–11,6	12	10
	5	11,6–12	14	12
	6	12–16	10	8
	7	16–20	12	10
III	1	0–4	8	4
	2	4–8	8–16	4–8
	3	8–12	20	12
	4	12–12,25	24	16
	5	12,25–14	20	12
	6	14–16	16	8
	7	16–20	20	12
IV	1	0–4	5	10
	2	4–8	5–20	10–20
	3	8–11,65	30	25
	4	11,65–12	35	25
	5	12–14	25	20
	6	14–18	30	22,5
	7	18–20	25	20

Путём обработки заданного преподавателем варианта суточных графиков изменения активной и реактивной мощности узла СЭС во времени соответственно $P(t)$ и $Q(t)$, приведенных в табл. 1.1, определить следующие показатели:

1. Средние за сутки активную и реактивную мощности

При условии непрерывного изменения нагрузки во времени средние за сутки значения активной и реактивной мощности следует определять соответственно по формулам

$$P_{\text{ср.сут}} = \frac{W_{\text{а.сут}}}{24} = \frac{1}{24} \int_0^{24} P(t) dt;$$

$$Q_{\text{ср.сут}} = \frac{W_{\text{р.сут}}}{24} = \frac{1}{24} \int_0^{24} Q(t) dt,$$

где $W_{\text{а.сут}}$ и $W_{\text{р.сут}}$ – соответственно активная и реактивная энергии, пропускаемые через рассматриваемый узел СЭС в течение одних суток.

Учитывая форму заданных суточных графиков нагрузок активную и реактивную энергию, пропущенную за одни сутки, можно определить, не прибегая к процедуре интегрирования, по выражениям

$$W_{\text{а.сут}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{сут}}} W_{\text{а}i} = \sum_{i=1}^{n_{\text{сут}}} P_i \Delta t_i; \quad (1.1)$$

$$W_{\text{р.сут}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{сут}}} W_{\text{р}i} = \sum_{i=1}^{n_{\text{сут}}} Q_i \Delta t_i, \quad (1.2)$$

где $n_{\text{сут}}$ – общее число интервалов времени в суточном графике, в которых активная и реактивная мощности остаются неизменными во времени и равными соответственно P_i и Q_i , но имеют различные численные значения, или в течение конкретного i -го интервала изменяются по линейному закону; $W_{\text{а}i}$ и $W_{\text{р}i}$ – активная и реактивная энергии, пропущенные через узел СЭС в течение i -го интервала времени суток; Δt_i – продолжительность i -го интервала времени.

На тех интервалах времени, где активная и реактивная мощности изменяются по линейному закону, значения P_i и Q_i рассчитываются соответственно по формулам

$$P_i = P_{\text{мин}i} + \frac{P_{\text{макс}i} - P_{\text{мин}i}}{2} = \frac{P_{\text{макс}i} + P_{\text{мин}i}}{2}; \quad (1.3)$$

$$Q_i = Q_{\text{мин}i} + \frac{Q_{\text{макс}i} - Q_{\text{мин}i}}{2} = \frac{Q_{\text{макс}i} + Q_{\text{мин}i}}{2}, \quad (1.4)$$

где $P_{\max i}$ и $P_{\min i}$ максимальное и минимальное значения активной мощности на рассматриваемом i -м интервале времени; $Q_{\max i}$

и $Q_{\text{мин}i}$ максимальное и минимальное значения реактивной мощности на рассматриваемом i -м интервале времени.

Графическая интерпретация замены наклонных участков суточного графика эквивалентного по условиям потребления электроэнергии прямоугольным участком, представлена на рис. 1.1. Там же показаны переменные, входящие в формулы (1.3) и (1.4).

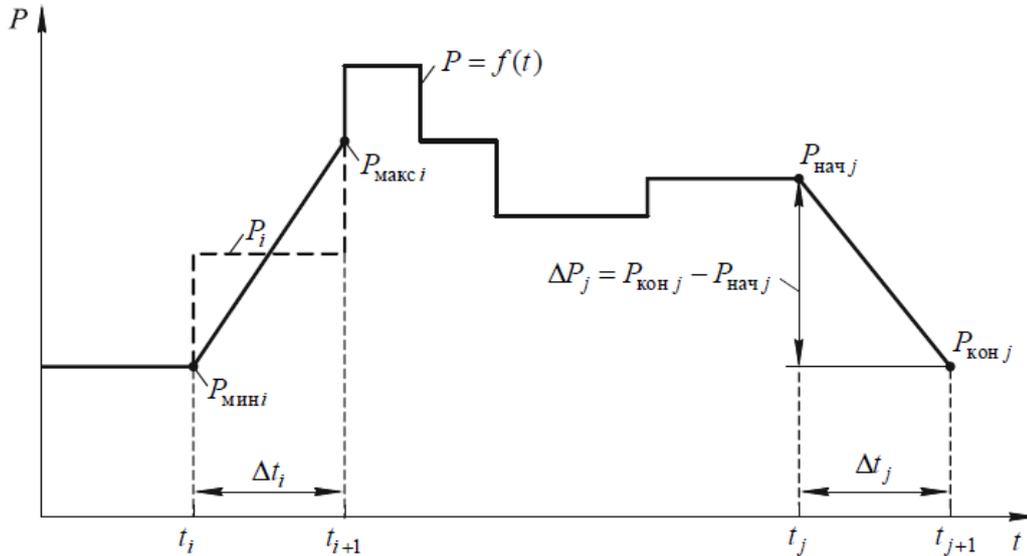


Рис. 1.1. Поясняющий рисунок

Отметим, что при более сложных законах изменения нагрузки во времени всегда можно воспользоваться методом кусочно-линейной аппроксимации и соответственно вышеприведенными выражениями (1.1)–(1.4).

2. Среднеквадратичные за сутки активную и реактивную мощности

Среднеквадратичные за сутки активную и реактивную мощности соответственно $P_{\text{ср. кв. сут}}$ и $Q_{\text{ср. кв. сут}}$ в общем случае при непрерывном изменении указанных мощностей во времени следует определять по формулам

$$P_{\text{ср. кв. сут}} = \sqrt{\frac{1}{24} \int_0^{24} P^2(t) dt};$$

$$Q_{\text{ср. кв. сут}} = \sqrt{\frac{1}{24} \int_0^{24} Q^2(t) dt}.$$

При заданной форме графиков активной и реактивной нагрузок их можно определить по выражениям

$$P_{\text{ср. кв. сут}} = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{i=1}^{n_{\text{сут}}} \int_0^{\Delta t_i} P_i^2(t) dt}; \quad (1.5)$$

$$Q_{\text{ср. кв. сут}} = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{i=1}^{n_{\text{сут}}} \int_0^{\Delta t_i} Q_i^2(t) dt}. \quad (1.6)$$

Поскольку с геометрической точки зрения интерпретации определённый

интеграл представляет собой площадь, ограниченную подынтегральной функцией и осью независимой переменной (в нашем случае осью времени) в пределах интервала интегрирования. Поэтому можно на каждом i -м интервале времени начало интегрирования совместить с началом координат и интегрирование проводить в пределах от 0 до Δt_i . Тогда выражения (1.5) и (1.6) примут следующий вид

$$P_{\text{ср. кв. сут}} = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{i=1}^{n_{\text{сут}}} \int_0^{\Delta t_i} P_i^2(t) dt}; \quad (1.7)$$

$$Q_{\text{ср. кв. сут}} = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{i=1}^{n_{\text{сут}}} \int_0^{\Delta t_i} Q_i^2(t) dt}. \quad (1.8)$$

Отметим то, что изменение пределов интегрирования позволяет в некоторой степени упростить запись подынтегральных функций, входящих в (1.7) и (1.8), которые при заданной форме графиков активной (см. рис. 1.1) и реактивной нагрузок соответственно будут иметь вид

$$\begin{aligned} P_i^2(t) &= \left(P_{\text{нач}i} + \frac{P_{\text{кон}i} - P_{\text{нач}i}}{\Delta t_i} t \right)^2 = \left(P_{\text{нач}i} + \frac{\Delta P_i}{\Delta t_i} t \right)^2 = \\ &= P_{\text{нач}i}^2 + 2P_{\text{нач}i} \frac{\Delta P_i}{\Delta t_i} t + \frac{\Delta P_i^2}{\Delta t_i^2} t^2; \end{aligned} \quad (1.9)$$

$$\begin{aligned} Q_i^2(t) &= \left(Q_{\text{нач}i} + \frac{Q_{\text{кон}i} - Q_{\text{нач}i}}{\Delta t_i} t \right)^2 = \left(Q_{\text{нач}i} + \frac{\Delta Q_i}{\Delta t_i} t \right)^2 = \\ &= Q_{\text{нач}i}^2 + 2Q_{\text{нач}i} \frac{\Delta Q_i}{\Delta t_i} t + \frac{\Delta Q_i^2}{\Delta t_i^2} t^2, \end{aligned} \quad (1.10)$$

где $P_{i \text{ нач}}$ и $Q_{i \text{ нач}}$ – значения активной и реактивной мощности в начале i -го интервала времени; $P_{i \text{ кон}}$ и $Q_{i \text{ кон}}$ – значения активной и реактивной мощности в конце i -го интервала времени; ΔP_i и ΔQ_i – приращения соответственно активной и реактивной мощности на интервале времени Δt_i .

На рис. 1. наглядно представлены величины, которые входят в выражения 1.9 и 1.10.

Полученные подынтегральные функции (1.9) и (1.10) позволяют найти и сами интегралы.

$$\begin{aligned} \int_0^{\Delta t_i} P_i^2(t) dt &= \int_0^{\Delta t_i} \left(P_{\text{нач}i}^2 + 2P_{\text{нач}i} \frac{\Delta P_i}{\Delta t_i} t + \frac{\Delta P_i^2}{\Delta t_i^2} t^2 \right) dt = \\ &= P_{\text{нач}i}^2 \Delta t_i + 2P_{\text{нач}i} \frac{\Delta P_i}{\Delta t_i} \frac{\Delta t_i^2}{2} + \frac{\Delta P_i^2}{\Delta t_i^2} \frac{\Delta t_i^3}{3} = \\ &= \left(P_{\text{нач}i}^2 + P_{\text{нач}i} \Delta P_i + \frac{\Delta P_i^2}{3} \right) \Delta t_i; \end{aligned} \quad (1.11)$$

$$\begin{aligned}
\int_0^{\Delta t_i} Q_i^2(t) dt &= \int_0^{\Delta t_i} \left(Q_{\text{нач}i}^2 + 2Q_{\text{нач}i} \frac{\Delta Q_i}{\Delta t_i} t + \frac{\Delta Q_i^2}{\Delta t_i^2} t^2 \right) dt = \\
&= Q_{\text{нач}i}^2 \Delta t_i + 2Q_{\text{нач}i} \frac{Q_i}{\Delta t_i} \frac{\Delta t_i^2}{2} + \frac{\Delta Q_i^2}{\Delta t_i^2} \frac{\Delta t_i^3}{3} = \\
&= \left(Q_{\text{нач}i}^2 + Q_{\text{нач}i} \Delta Q_i + \frac{\Delta Q_i^2}{3} \right) \Delta t_i.
\end{aligned} \tag{1.12}$$

Подставив вычисленные по выражениям (1.11) и (1.12) значения интегралов на каждом интервале времени суточных графиков активной и реактивной нагрузок соответственно в (1.7) и (1.8), получим искомые значения среднеквадратичных за сутки значений активной и реактивной мощности.

3. Коэффициент формы суточных графиков активной и реактивной мощности

Известно, что коэффициент формы графиков активной и реактивной нагрузок представляет собой отношение их среднеквадратичных значений за конкретный период времени к средним значениям за тот же период времени.

Учитывая вышесказанное, указанные коэффициенты рассчитывают по выражениям

$$\begin{aligned}
K_{\text{ф. а. сут}} &= \frac{P_{\text{ср. кв. сут}}}{P_{\text{ср. сут}}}; \\
K_{\text{ф. р. сут}} &= \frac{Q_{\text{ср. кв. сут}}}{Q_{\text{ср. сут}}}.
\end{aligned}$$

4. Число часов использования максимума активной и реактивной нагрузки за одни сутки

Число часов использования максимума активной нагрузки $T_{\text{и. м. а}}$ за конкретный период времени представляет собой отношение активной энергии, пропущенной через узел СЭС за рассматриваемый период времени, к максимальной активной мощности, имевшей место в течение этого периода.

Учитывая вышесказанное, число часов использования максимума активной нагрузки за одни сутки рассчитывается по выражению

$$T_{\text{н. м. р. сут}} = \frac{W_{\text{р. сут}}}{Q_{\text{макс}}} = \frac{24Q_{\text{ср. сут}}}{Q_{\text{макс}}};$$

$$T_{\text{н. м. сут}} = \frac{\int_0^{24} S(t) dt}{S_{\text{макс}}} = \frac{24S_{\text{ср. сут}}}{S_{\text{макс}}}.$$

5. Число часов максимальных потерь за сутки $\tau_{\text{сут}}$

Число часов максимальных потерь, используемое при определении нагрузочных потерь электроэнергии в элементах СЭС, может быть определено за любой промежуток времени, в том числе и за сутки.

Поскольку нагрузочные потери в токоведущих элементах обуславливаются протеканием по ним не только активной, но и реактивной мощности, то значение числа часов максимальных потерь следует определять, используя графики изменения полной мощности или тока во времени, соответственно $S(t)$ и $I(t)$.

При условии, когда заданы графики активной и реактивной нагрузки раздельно, что имеет место в данной работе, то для определения числа часов максимальных потерь τ можно воспользоваться одним из следующих методов:

1. Расчёт $\tau_{\text{сут}}$ по графику полной мощности.

Для этого необходимо построить суточный график нагрузки полной мощности и рассчитать $\tau_{\text{сут}}$, используя выражение (1.13):

$$\tau_{\text{сут}1} = \frac{1}{S_{\text{макс}}^2} \int_0^{24} S^2(t) dt = \frac{\frac{24}{24} \int_0^{24} S^2(t) dt}{S_{\text{макс}}^2} = \frac{24S_{\text{ср. кв. сут}}^2}{S_{\text{макс}}^2}, \quad (1.13)$$

где $S_{\text{ср. кв. сут}}$ – среднеквадратичное значение полной мощности за сутки, кВ·А; $S_{\text{макс}}$ – максимальное значение полной мощности за сутки, кВ·А.

Отметим то, что здесь и далее цифра в конце подстрочного индекса $\tau_{\text{сут}}$ указывает на принадлежность порядковому номеру рассматриваемого метода.

Расчёт $S_{\text{ср. кв. сут}}$ ведётся по формуле, аналогичной (1.7):

$$S_{\text{ср. кв. сут}1} = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{i=1}^{n_{\text{сут}}} \int_0^{M_i} S_i^2(t) dt}.$$

Значения определённых интегралов, входящих в эту формулу, рассчитываются по выражению, аналогичному (1.11)

$$\int_0^{\Delta t_i} S_i^2(t) dt = \int_0^{\Delta t_i} \left(S_{\text{нач}i}^2 + 2S_{\text{нач}i} \frac{\Delta S_i}{\Delta t_i} t + \frac{\Delta S_i^2}{\Delta t_i^2} t^2 \right) dt =$$

$$= \left(S_{\text{нач}i}^2 + S_{\text{нач}i} \Delta S_i + \frac{\Delta S_i^2}{3} \right) \Delta t_i,$$

где $S_{\text{нач}i}$ – значение полной мощности в начале i -го интервала; ΔS_i – приращение полной мощности на i -м интервале.

2. Расчёт $\tau_{\text{сут}}$ по формуле, полученной на лекционных занятиях:

$$\tau_{\text{сут}2} = \frac{P_{\text{макс}}^2 \tau_{\text{а.сут}} + Q_{\text{макс}}^2 \tau_{\text{р.сут}}}{S_{\text{макс}}^2}, \quad (1.14)$$

где $\tau_{\text{а.сут}}$ и $\tau_{\text{р.сут}}$ – число часов максимальных потерь, обусловленных характером (формой) графиков соответственно активной и реактивной мощностей, которые определяются по выражениям, подобным (1.13)

$$\tau_{\text{а.сут}} = \frac{1}{P_{\text{макс}}^2} \int_0^{24} P^2(t) dt = \frac{24 \int_0^{24} P^2(t) dt}{P_{\text{макс}}^2} = \frac{24 P_{\text{ср.кв.сут}}^2}{P_{\text{макс}}^2};$$

$$\tau_{\text{р.сут}} = \frac{1}{Q_{\text{макс}}^2} \int_0^{24} Q^2(t) dt = \frac{24 \int_0^{24} Q^2(t) dt}{Q_{\text{макс}}^2} = \frac{24 Q_{\text{ср.кв.сут}}^2}{Q_{\text{макс}}^2}.$$

С использованием полученных значений среднеквадратичных величин активной, реактивной и полной мощностей можно проверить адекватность расчётного выражения

$$S_{\text{ср.кв.сут}2} = \sqrt{P_{\text{ср.кв.сут}}^2 + Q_{\text{ср.кв.сут}}^2}.$$

3. Расчёт $\tau_{\text{сут}}$ с использованием эмпирической формулы, приводимой в справочниках:

$$\tau_{\text{сут}3} = \left(0,124 + \frac{T_{\text{и.м.г}}}{10^4} \right)^2 T_{\text{сут}}, \quad (1.15)$$

где $T_{\text{и.м.г}}$ – число часов использования максимума нагрузки за год, ч/год;

$T_{\text{сут}}$ – число часов в сутках, ч.

Число часов использования максимума нагрузки за год $T_{\text{и.м.г}}$ можно определить, используя следующие выражения:

$$T_{\text{и.м.г}} = n_{\text{г}} T_{\text{и.м.сут}} = 24 n_{\text{г}} \frac{S_{\text{ср.сут}}}{S_{\text{макс}}};$$

где $n_{\text{г}}$ – число дней в году, равное 365.

Исходные данные своего варианта и результаты расчётов занести в табл. 1.2 и 1.3.

Таблица 1.2

Исходные данные и результаты расчётов

№ интервала времени суток	Интервал времени суток, ч		Значения активных и реактивных мощностей в начале и конце интервалов времени				Характерные особенности суточных графиков активной и реактивной нагрузок, используемых при определении их показателей							
			t_i	t_{i+1}	Δt_i	$P_{\text{нач}}, \text{МВт}$	$P_{\text{кон}}, \text{МВт}$	$Q_{\text{нач}}, \text{Мвар}$	$Q_{\text{кон}}, \text{Мвар}$	$\Delta P, \text{МВт}$	$P_{\text{макс}}, \text{МВт}$	$P_{\text{мин}}, \text{МВт}$	$\Delta Q, \text{Мвар}$	$Q_{\text{макс}}, \text{Мвар}$
	1													
2														
...														
8														

Окончание таблицы 1.2

№ интервала времени суток	Характерные особенности суточного графика нагрузки полной мощности, используемый при определении его показателей		Энергия, пропущенная через узел СЭС в течение интервала		$\int_0^{\Delta t_i} P_i^2(t) dt, (\text{МВт})^2 \cdot \text{ч}$	$\int_0^{\Delta t_i} Q_i^2(t) dt, (\text{Мвар})^2 \cdot \text{ч}$	$\int_0^{\Delta t_i} S_i^2(t) dt, (\text{МВ}\cdot\text{А})^2 \cdot \text{ч}$	
	$S_{\text{нач}}, \text{МВ}\cdot\text{А}$	$S_{\text{кон}}, \text{МВ}\cdot\text{А}$	$\Delta S, \text{МВ}\cdot\text{А}$	$W_a, \text{МВт}\cdot\text{ч}$				$W_p, \text{Мвар}\cdot\text{ч}$
1								
2								
...								
8								
ИТОГО								

Таблица 1.3

Параметры суточных графиков

Максимальные мощности в суточных графиках		Среднесуточные мощности			Среднеквadraticные мощности				
$P_{\text{макс}}$, МВт	$Q_{\text{макс}}$, Мвар	$S_{\text{макс}}$, МВ·А	$P_{\text{ср.сут}}$, МВт	$Q_{\text{ср.сут}}$, Мвар	$S_{\text{ср.сут}}$, МВ·А	$P_{\text{ср.кв.сут}}$, МВт	$Q_{\text{ср.кв.сут}}$, Мвар	$S_{\text{ср.кв.сут1}}$, МВ·А	$S_{\text{ср.кв.сут2}}$, МВ·А

Окончание табл. 1.3

Коэффициенты формы суточных графиков		Число часов использования максимума нагрузки за сутки			Число часов максимальных потерь				
$K_{\text{ф.а.сут}}$, о.е.	$K_{\text{ф.р.сут}}$, о.е.	$T_{\text{и.м.а.сут}}$, ч/сут	$T_{\text{и.м.р.сут}}$, ч/сут	$T_{\text{и.м.сут}}$, ч/сут	$\tau_{\text{а.сут}}$, ч/сут	$\tau_{\text{р.сут}}$, ч/сут	$\tau_{\text{сут1}}$, ч/сут	$\tau_{\text{сут2}}$, ч/сут	$\tau_{\text{сут3}}$, ч/сут

Контрольные вопросы

1. Что вы понимаете под средней активной и реактивной мощностями, и как они определяются?
2. Что собой представляет среднеквадратичная мощность?
3. Какова область использования среднеквадратичного тока?
4. В чём заключается физический смысл коэффициента использования установленной мощности $k_{и.а}$ электроприёмника?
5. Приведите классификацию графиков электрических нагрузок и укажите область их использования.
6. График нагрузки какой смены суток следует применять при определении коэффициента использования установленной мощности электроприёмника?
7. Как связаны между собой средняя и среднеквадратичная мощности?
8. С какой целью снимаются суточные графики нагрузок?
9. Что собой представляет коэффициент спроса установленной мощности электроприёмника и чем он принципиально отличается от коэффициента использования?
10. В какие характерные сутки года следует снимать суточные графики нагрузок? Обоснуйте свой ответ.
11. Что вы понимаете под числом часов использования максимума активной нагрузки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГОДОВЫХ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Цель работы

- привитие навыков определения отдельных параметров, используемых при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения (СЭС), по годовым графикам электрических нагрузок узлов СЭС;
- проверка теоретических положений и адекватности упрощенных выражений, используемых для определения отдельных показателей при проектировании СЭС.

Общие положения

Известно, что суточные графики нагрузок электроприёмников и узлов СЭС несут в себе надёжную информацию о режимах их работы и электропотреблении, обусловленных, главным образом, технологией производства, без учёта которой невозможно создать надёжно работающую и экономически выгодную систему электроснабжения.

На формирование графика нагрузки влияет много случайных факторов, которые математически не всегда можно учесть. Мощность, потребляемая

отдельным электроприёмником, например, станком, зависит от формы и величины обрабатываемой детали, скорости подачи и глубины резания, времени, связанного с остановкой станка для замера размеров детали, и даже индивидуальных качеств токаря, обрабатывающего детали.

Электрические нагрузки промышленных предприятий являются основным исходным материалом для проектирования любой системы электроснабжения, выбора числа и мощности силовых трансформаторов и сечения проводов, кабелей, шин и т. д. Поэтому изучение методов расчета электрических нагрузок и практический анализ их графиков представляет большой интерес.

Для определения показателей годовых графиков нагрузок, как правило, формируются упорядоченные годовые графики по продолжительности. При этом используются суточные графики нагрузок, снятые в характерные сутки года (зимние, летние, осенне-весенние) и сутки недели (рабочие и празднично-выходные), и их повторяемость в течение года. Суточные графики в большинстве случаев снимаются с использованием счётчиков электрической энергии.

Однако показатели годовых графиков могут быть определены, не прибегая к построению упорядоченных годовых графиков, используя при этом показатели суточных графиков, снятых в характерные сутки, и сведения о повторяемости характерных суточных графиков в течение года, другими словами – применяя нетрадиционный подход. В данной работе для определения показателей годовых графиков используется именно такой подход.

При подготовке к лабораторной работе и для её выполнения изучите теоретические положения, изложенные в [1].

Работа проводится с использованием персональных компьютеров, оснащённых стандартным пакетом программ Microsoft Office.

Методические указания по проведению работы

1. В редакторе электронных таблиц Excel сформируйте таблицу, форма которой приведена ниже

Таблица 2.1

Показания счетчиков активной энергии W , кВт·ч и реактивной V – квар·ч, за характерные сутки

Момент времени съёма показаний счётчиков, ч	Летние				Зимние			
	Рабочие		Выходные		Рабочие		Выходные	
	W	V	W	V	W	V	W	V
0.0								
1.0								
.....								
.....								
24.0								

2. Внесите в сформированную табл. 2.1 заданный преподавателем вариант показаний счётчиков активной и реактивной энергии за 4 характерные сутки. Варианты показаний счётчиков представлены в табл. П.1–П.12.

3. Найдите средние активные и реактивные мощности за каждый характерных суток по формулам:

$$P_{срi} = K_{тт} K_{тн} \frac{W_{i+1} - W_i}{\Delta t_i}, \text{ кВт};$$

$$Q_{срi} = K_{тт} K_{тн} \frac{V_{i+1} - V_i}{\Delta t_i}, \text{ квар},$$

где W_i, W_{i+1} – показание счётчика активной энергии соответственно в начале и конце i -го часа суток, кВт·ч; V_i, V_{i+1} – показание счётчика реактивной энергии соответственно в начале и конце i -го часа суток, квар·ч; $K_{тт}, K_{тн}$ – коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения, варианты численных значений которых приведены в таблице П.13 (вариант задаётся преподавателем); Δt_i – интервал время между i и $i+1$ замерами, ч.

Полученные результаты занесите в табл. 2.2.

4. Постройте суточные графики активной, реактивной и полной мощности за все характерные сутки.

Таблица 2.2

Среднечасовые активная, реактивная и полная мощности

Интервал времени, ч	Летние сутки						Зимние сутки					
	Рабочие			Выходные			Рабочие			Выходные		
	$P,$ кВт	$Q,$ квар	$S,$ кВ·А	$P,$ кВт	$Q,$ квар	$S,$ кВ·А	$P,$ кВт	$Q,$ квар	$S,$ кВ·А	$P,$ кВт	$Q,$ квар	$S,$ кВ·А
0–1												
1–2												
2–3												
...												
23–24												

5. По суточным графикам активной, реактивной и полной нагрузок определите следующие показатели:

- максимальные получасовые значения активной и реактивной нагрузок P_m и Q_m , а также максимальное значение полной мощности в каждые характерные сутки S_m ;
- средние за каждые характерные сутки активную и реактивную нагрузки

$$P_{\text{ср. сут}} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} P_i \Delta t_i,$$

$$Q_{\text{ср. сут}} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} Q_i \Delta t_i,$$

– среднеквадратичные активные и реактивные нагрузки за каждые характерные сутки

$$P_{\text{ср. кв. сут}} = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} P_i^2 \Delta t_i},$$

$$Q_{\text{ср. кв. сут}} = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} Q_i^2 \Delta t_i};$$

– коэффициенты форм суточных графиков активной и реактивной нагрузок

$$K_{\text{ф. а. сут}} = \frac{P_{\text{ср. кв. сут}}}{P_{\text{ср. сут}}}, \quad K_{\text{ф. р. сут}} = \frac{Q_{\text{ср. кв. сут}}}{Q_{\text{ср. сут}}}$$

– коэффициенты максимума активной и реактивной нагрузки

$$K_{\text{м. а}} = \frac{P_{\text{м}}}{\max(P_{\text{ср. см } j})}; \quad K_{\text{м. р}} = \frac{Q_{\text{м}}}{\max(Q_{\text{ср. см } j})},$$

где $P_{\text{ср. см}}$ и $Q_{\text{ср. см}}$ – средние активная и реактивная мощности за одну смену (при расчётах принять трёхсменный режим работы);

Средние активная и реактивная мощности за j -ю смену определяются по следующим выражениям:

$$P_{\text{ср. см } j} = \frac{1}{T_{\text{см } j}} \sum_{i=1}^{n_{\text{см } j}} P_{ji} \Delta t_{ji}; \quad Q_{\text{ср. см } j} = \frac{1}{T_{\text{см } j}} \sum_{i=1}^{n_{\text{см } j}} Q_{ji} \Delta t_{ji},$$

где $T_{\text{см } j}$ – продолжительность j -й смены суток; $n_{\text{см } j}$ – число интервалов времени Δt в j -ю смену суток с фиксированными значениями активной и реактивной мощности;

– коэффициенты заполнения графиков активных и реактивных нагрузок

$$K_{\text{з. г. а}}^{\text{сут}} = \frac{P_{\text{ср. сут}}}{P_{\text{м. сут}}}; \quad K_{\text{з. г. р}}^{\text{сут}} = \frac{Q_{\text{ср. сут}}}{Q_{\text{м. сут}}},$$

где $P_{\text{м. сут}}$ – максимальное значение активной мощности в рассматриваемом суточном графике активной нагрузки; $Q_{\text{м. сут}}$ – максимальное значение реактивной мощности в рассматриваемом суточном графике реактивной нагрузки;

– коэффициенты мощности средневзвешенные за сутки $\cos\varphi_{\text{ср.сут}}$ и в момент максимума полной нагрузки $\cos\varphi_{(S=S_M)}$:

$$\cos\varphi_{\text{ср.сут}} = \frac{P_{\text{ср.сут}}}{\sqrt{P_{\text{ср.сут}}^2 + Q_{\text{ср.сут}}^2}}; \cos\varphi_{(S=S_M)} = \frac{P_{(S=S_M)}}{S_M},$$

где S_M – максимальное значение полной мощности, наблюдаемой в течение рассматриваемой сутки.

Результаты расчётов занесите в табл. 2.3

6. На суточных графиках активных и реактивных нагрузок покажите средние, среднеквадратичные, максимальные и расчетные нагрузки

7. Сформируйте и постройте упорядоченные годовые графики активной, реактивной и полной мощности.

Упорядоченные графики нагрузок – графики, в которых мощности (токи) располагаются в порядке возрастания или убывания их величин (чаще в порядке убывания).

Для построения годовых графиков по продолжительности целесообразно сначала сформировать упорядоченные (по мере убывания) суточные графики активной, реактивной и полной мощности за каждые характерные сутки, используя при этом данные табл. 2.2. При этом мощности располагаем по мере их убывания, а суммарный интервал времени протекания i -го значения мощности в течение j -х характерных суток $\Delta t_{ji}^{\text{сут}}$ находим путём суммирования отдельных k -х интервалов времени в суточном графике, в которых это значение мощности наблюдалось, т. е.

$$\Delta t_{ji}^{\text{сут}} = \sum_{k=1}^{n_{ji}} \Delta t_{ik}, \quad (2.1)$$

где n_{ji} – число интервалов времени в j -м характерном суточном графике с i -м значением мощности; Δt_{ik} – длительность k -го интервала времени в суточном графике с i -м значением мощности.

Учитывая то, что длительность интервалов времени между замерами в суточных графиках одинаковы, т. е. $\Delta t_{ik} = \Delta t_{\text{инт.сут}} = \text{const}$, выражение (2.1)

можно записать в виде $\Delta t_{ji}^{\text{сут}} = \Delta t_{\text{инт.сут}} n_{ji}$.

Полученные данные в результате формирования упорядоченных суточных графиков активной, реактивной и нагрузки занесите соответственно в табл. 2.4–2.6., 2.7-2.9.

Таблица 2.3

Показатели суточных графиков нагрузки

Характерные сутки	Число характерных суток	Номер смены	Интервал времени одной смены, ч		$P_{\text{ср. см}}$, кВт	$Q_{\text{ср. см}}$, квар	$P_{\text{м}}$, кВт	$Q_{\text{м}}$, квар	$S_{\text{м}}$, кВ·А	$K_{\text{м. а}}$	$K_{\text{м. р}}$
			Начало смены	Конец смены							
Летние	Рабочие	1									
		2									
		3									
Зимние	Рабочие	1									
		2									
		3									
Летние	Выходные	1									
		2									
		3									
Зимние	Выходные	1									
		2									
		3									

Окончание табл.2.3

Характерные сутки	$P_{\text{ср. сут}}$, кВт	$Q_{\text{ср. сут}}$, квар	$K_{\text{з. г. а}}$	$K_{\text{з. г. р}}$	$P_{\text{ср. кв. сут}}$, кВт	$Q_{\text{ср. кв. сут}}$, квар	$K_{\text{ф. а. сут}}$	$K_{\text{ф. р. сут}}$	$\cos\varphi_{\text{ср. сут}}$	$\cos\varphi_{(S=S_{\text{м}})}$
Летние	Рабочие									
	Выходные									
Зимние	Рабочие									
	Выходные									

Таблица 2.4

Упорядоченные суточные графики активной нагрузки

№ интервала упорядоченного суточного графика	Зимние рабочие сутки		Летние рабочие сутки		Зимние выходные сутки		Летние выходные сутки	
	P , кВт	$\Delta t_i^{сут}$, ч/сут	P , кВт	$\Delta t_i^{сут}$, ч/сут	P , кВт	$\Delta t_i^{сут}$, ч/сут	P , кВт	$\Delta t_i^{сут}$, ч/сут
1								
2								
....								
....								
n								

Таблица 2.5

Упорядоченные суточные графики реактивной нагрузки

№ интервала упорядоченного суточного графика	Зимние рабочие сутки		Летние рабочие сутки		Зимние выходные сутки		Летние выходные сутки	
	Q , кВт	$\Delta t_i^{сут}$, ч/сут	Q , кВт	$\Delta t_i^{сут}$, ч/сут	Q , кВт	$\Delta t_i^{сут}$, ч/сут	Q , кВт	$\Delta t_i^{сут}$, ч/сут
1								
2								
....								
n								

Таблица 2.6

Упорядоченные суточные графики полной нагрузки

№ интервала упорядоченного суточного графика	Зимние рабочие сутки		Летние рабочие сутки		Зимние выходные сутки		Летние выходные сутки	
	S , кВт	$\Delta t_i^{сут}$, ч/сут	S , кВт	$\Delta t_i^{сут}$, ч/сут	S , кВт	$\Delta t_i^{сут}$, ч/сут	S , кВт	$\Delta t_i^{сут}$, ч/сут
1								
2								
....								
n								

Таблица 2.7

Упорядоченный годовой график активной нагрузки

№ ступени упорядоченного графика	1	2	3	4	...	$N_{г. а}$
Величина активной мощности ступени P_i , кВт						
Продолжительность времени протекания мощности P_i в течение года $\Delta t_{год, pi}$, ч/год						

Таблица 2.8

Упорядоченный годовой график реактивной нагрузки

№ ступени упорядоченного графика	1	2	3	4	...	$N_{г. р}$
Величина активной мощности ступени Q_i , кВт						
Продолжительность времени протекания мощности Q_i в течение года $\Delta t_{год, qi}$, ч/год						

Таблица 2.9

Упорядоченный годовой график полной нагрузки

№ ступени упорядоченного графика	1	2	3	4	...	$N_{г. s}$
Величина активной мощности ступени S_i , кВт						
Продолжительность времени протекания мощности S_i в течение года $\Delta t_{год, si}$, ч/год						

Контрольные вопросы

1. Что собой представляют упорядоченные графики электрических нагрузок?
2. С какой целью строятся упорядоченные годовые графики нагрузок?
3. Опишите методику построения упорядоченных годовых графиков.
4. В какие характерные сутки года снимаются суточные графики нагрузок?
5. Что собой представляет коэффициент заполнения суточного графика нагрузок $K_{з.г}^{сут}$?
6. Что характеризует коэффициент сменности по энергоиспользованию?
7. Какая связь существует между числом часов использования максимума нагрузки $T_{и.м}$ и числом часов максимальных потерь τ ?
8. Что собой представляют коэффициенты формы графиков нагрузок $K_{ф.г}$, и какова область их использования?

9. При каком условии будут равными числа часов максимальных потерь τ_p , τ_q , и τ , найденные путём обработки графиков соответственно активной, реактивной и полной мощности.
10. Всегда ли можно ограничиться нахождением числа часов максимальных потерь, используя только график активной нагрузки? Обоснуйте свой ответ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ОДНОФАЗНОЙ НАГРУЗКИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЁ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ МЕЖДУ ФАЗАМИ

Цель работы

- проверка правомерности допущений, принимаемых в справочной литературе [2] при определении величины расчётных нагрузок в узлах совместного питания однофазных и трёхфазных электроприёмников;
- проверка правильности теоретических выводов по определению распределения потребляемой из сети мощности электроприёмников, подключённым на линейное напряжение, между соответствующими фазами сети и зависимости распределения от коэффициента мощности электроприёмника.

Общие положения и методические указания по выполнению работы

Наличие однофазных электроприёмников (ЭП), как правило, приводит к несимметричной загрузке фаз сети, что вызывает ряд отрицательных последствий, таких как:

- появление токов и напряжений обратной и нулевой последовательности в четырёх и пятипроводных сетях и токов и напряжений обратной последовательности – в трёхпроводных сетях;
- увеличение потерь энергии в сетях по сравнению с их значением при симметричной нагрузке фаз;
- появление электромагнитных моментов у электродвигателей, действующих согласно с нагрузкой и приводящих к увеличению потребления ими электроэнергии и ускоренному износу изоляции.

Пренебрежение фазностью электроприёмников при определении расчётных нагрузок приводит к ускоренному износу изоляции одной из фаз сети.

С целью снижения указанных отрицательных последствий уже на стадии проектирования СЭС необходимо:

- нагрузку, обусловленную однофазными электроприёмниками, как можно равномерно распределить между фазами сети;
- определить нагрузку наиболее загруженной фазы и заменить однофазную нагрузку эквивалентной ей трёхфазной, равной утроенной величине нагрузки наиболее загруженной фазы.

По данным [2] допускается однофазные электроприёмники условно принимать как трёхфазные, если неравномерность распределения номинальной мощности однофазных электроприёмников по фазам, отнесённая к мощности наименее загруженной фазы, включая приходящуюся на одну фазу мощность трёхфазных электроприёмников, составляет 15 и менее %, т. е.

$$\begin{aligned} \delta P_{\text{ном}} &= \frac{P_{\text{ном. ф. макс}} - P_{\text{ном. ф. мин}}}{P_{\text{ном. ф. мин}}} 100\% = \\ &= \frac{\left(P_{\text{ном. ф. макс}}^* + \frac{1}{3} P_{\text{ном. III}} \right) - \left(P_{\text{ном. ф. мин}}^* + \frac{1}{3} P_{\text{ном. III}} \right)}{\left(P_{\text{ном. ф. мин}}^* + \frac{1}{3} P_{\text{ном. III}} \right)} 100\% = \\ &= \frac{P_{\text{ном. ф. макс}}^* - P_{\text{ном. ф. мин}}^*}{\left(P_{\text{ном. ф. мин}}^* + \frac{1}{3} P_{\text{ном. III}} \right)} 100\% \leq 15\%, \end{aligned}$$

где $P_{\text{ном. ф. макс}}^*$ и $P_{\text{ном. ф. мин}}^*$ – суммарные значения номинальных мощностей электроприёмников, подключённых к наиболее и наименее загруженным фазам, обусловленных только однофазными электроприёмниками; $P_{\text{ном. III}}$ – суммарная номинальная мощность всех трёхфазных электроприёмников, подключённых к рассматриваемому узлу СЭС. Согласно [1], средние активные и реактивные мощности фаз, обусловленные однофазными электроприёмниками, могут быть рассчитаны по следующим формулам:

– активные мощности фаз:

$$\begin{aligned} P_{\text{ср. А}} &= \sum_{i=1}^{n_{\text{AB}}} k_{\text{н. а}i} P_{\text{ном. АВ}i} k_{(\text{АВ})\text{А}i} + \sum_{i=1}^{n_{\text{СА}}} k_{\text{н. а}i} P_{\text{ном. СА}i} k_{(\text{СА})\text{А}i} + \\ &\quad + \sum_{i=1}^{n_{\text{А0}}} k_{\text{н. а}i} P_{\text{ном. А0}i}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{ср. В}} &= \sum_{i=1}^{n_{\text{AB}}} k_{\text{н. а}i} P_{\text{ном. АВ}i} k_{(\text{АВ})\text{В}i} + \sum_{i=1}^{n_{\text{BC}}} k_{\text{н. а}i} P_{\text{ном. BC}i} k_{(\text{BC})\text{В}i} + \\ &\quad + \sum_{i=1}^{n_{\text{В0}}} k_{\text{н. а}i} P_{\text{ном. В0}i}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{ср. С}} &= \sum_{i=1}^{n_{\text{BC}}} k_{\text{н. а}i} P_{\text{ном. BC}i} k_{(\text{BC})\text{С}i} + \sum_{i=1}^{n_{\text{СА}}} k_{\text{н. а}i} P_{\text{ном. СА}i} k_{(\text{СА})\text{С}i} + \\ &\quad + \sum_{i=1}^{n_{\text{С0}}} k_{\text{н. а}i} P_{\text{ном. С0}i}; \end{aligned}$$

– реактивные мощности фаз:

$$Q_{\text{ср. А}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{AB}}} k_{\text{н. а}i} P_{\text{ном. АВ}i} q_{(\text{АВ})\text{А}i} + \sum_{i=1}^{n_{\text{СА}}} k_{\text{н. а}i} P_{\text{ном. СА}i} q_{(\text{СА})\text{А}i} + \\ + \sum_{i=1}^{n_{\text{А0}}} k_{\text{н. а}i} P_{\text{ном. А0}i} \text{tg}\varphi_{\text{А0}i};$$

$$Q_{\text{ср. В}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{AB}}} k_{\text{н. а}i} P_{\text{ном. АВ}i} q_{(\text{АВ})\text{В}i} + \sum_{i=1}^{n_{\text{BC}}} k_{\text{н. а}i} P_{\text{ном. ВС}i} q_{(\text{ВС})\text{В}i} + \\ + \sum_{i=1}^{n_{\text{В0}}} k_{\text{н. а}i} P_{\text{ном. В0}i} \text{tg}\varphi_{\text{В0}i};$$

$$Q_{\text{ср. С}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{BC}}} k_{\text{н. а}i} P_{\text{ном. ВС}i} q_{(\text{ВС})\text{С}i} + \sum_{i=1}^{n_{\text{СА}}} k_{\text{н. а}i} P_{\text{ном. СА}i} q_{(\text{СА})\text{С}i} + \\ + \sum_{i=1}^{n_{\text{С0}}} k_{\text{н. а}i} P_{\text{ном. С0}i} \text{tg}\varphi_{\text{С0}i}.$$

Здесь $n_{\text{AB}}, n_{\text{BC}}, n_{\text{CA}}$ – число электроприёмников, подключённых соответственно на линейные напряжения $U_{\text{AB}}, U_{\text{BC}}$ и U_{CA} ; $n_{\text{А0}}, n_{\text{В0}}, n_{\text{С0}}$ – число электроприёмников, подключённых соответственно на фазные напряжения $U_{\text{А0}}, U_{\text{В0}}$ и $U_{\text{С0}}$; $k_{\text{н. а}i}$ – коэффициент использования установленной активной мощности i -го электроприёмника; $P_{\text{ном. АВ}i}, P_{\text{ном. ВС}i}, P_{\text{ном. СА}i}$ – номинальные активные мощности отдельных электроприёмников, подключённых соответственно на линейные напряжения $U_{\text{AB}}, U_{\text{BC}}$ и U_{CA} ; $P_{\text{ном. А0}i}, P_{\text{ном. В0}i}, P_{\text{ном. С0}i}$ – номинальные активные мощности отдельных электроприёмников, подключённых соответственно на фазные напряжения $U_{\text{А0}}, U_{\text{В0}}$ и $U_{\text{С0}}$; $k_{(\text{АВ})\text{А}i}, k_{(\text{АВ})\text{В}i}, k_{(\text{ВС})\text{В}i}, k_{(\text{ВС})\text{С}i}, k_{(\text{СА})\text{С}i}, k_{(\text{СА})\text{А}i}$ – расчётные коэффициенты, представляющие собой доли потребляемых отдельно взятыми электроприёмниками, подключёнными на линейные напряжения $U_{\text{AB}}, U_{\text{BC}}$ и U_{CA} значений активных мощностей соответственно по фазам А, В и С, на что в подстрочных индексах указывают буквенные обозначения, стоящие после скобок; $q_{(\text{АВ})\text{А}i}, q_{(\text{АВ})\text{В}i}, q_{(\text{ВС})\text{В}i}, q_{(\text{ВС})\text{С}i}, q_{(\text{СА})\text{С}i}, q_{(\text{СА})\text{А}i}$ – расчётные коэффициенты, представляющие собой доли потребляемых отдельно взятыми электроприёмниками, подключёнными на линейные напряжения $U_{\text{AB}}, U_{\text{BC}}$, и U_{CA} , значений реактивных мощностей соответственно по фазам А, В и С, на что в подстрочных индексах указывают буквенные обозначения, стоящие после скобок.

Указанные выше расчётные коэффициенты в учебной и справочной литературе принято называть коэффициентами приведения однофазных нагрузок, включённых на междуфазные напряжения, к соответствующим

фазам. Они зависят от коэффициентов реактивной мощности электроприёмников. Их численные значения в зависимости от $\cos\varphi$ приводятся в учебной и справочной литературе [1–3], а также могут быть рассчитаны по ниже следующим формулам [3]:

$$\begin{cases} k_{(AB)Ai} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{tg}\varphi_{ABi}; \\ k_{(BC)Bi} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{tg}\varphi_{BCi}; \\ k_{(CA)Ci} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{tg}\varphi_{CAi}. \end{cases} \quad \begin{cases} k_{(AB)Bi} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{tg}\varphi_{ABi}; \\ k_{(BC)Ci} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{tg}\varphi_{BCi}; \\ k_{(CA)Ai} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2\sqrt{3}} \operatorname{tg}\varphi_{CAi}. \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_{(AB)Ai} = \frac{\operatorname{tg}\varphi_{ABi}}{2} - \frac{1}{2\sqrt{3}}; \\ q_{(BC)Bi} = \frac{\operatorname{tg}\varphi_{BCi}}{2} - \frac{1}{2\sqrt{3}}; \\ q_{(CA)Ci} = \frac{\operatorname{tg}\varphi_{CAi}}{2} - \frac{1}{2\sqrt{3}}. \end{cases} \quad \begin{cases} q_{(AB)Bi} = \frac{\operatorname{tg}\varphi_{ABi}}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}}; \\ q_{(BC)Ci} = \frac{\operatorname{tg}\varphi_{BCi}}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}}; \\ q_{(CA)Ai} = \frac{\operatorname{tg}\varphi_{CAi}}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}}. \end{cases}$$

Методические указания по проведению работы

Академическая группа делится на бригады, состоящие из двух человек. Каждая бригада выбирает вариант компьютерной модели с заданными параметрами сети (LW3_поXX) в соответствии с номером, указанным преподавателем, и путём нажатия на него левой клавишей мыши открывает модель сети. Далее работа проводится, следуя рекомендациям:

1. Курсор наведите на блок трёхфазной нагрузки «*THREE-PHASE LOAD*» и путём нажатия левой клавиши мыши откройте окно меню «*Block Parameters: Three-Phase Parallel RLC Load*» указанного блока. Задайтесь значениями активной и реактивной мощности таким образом, чтобы соблюдались следующие условия

$$S_{III} = \sqrt{P_{III}^2 + Q_{III}^2} = 0,5S_{T. \text{НОМ}} \text{ и } \operatorname{tg}\varphi_{III} = \frac{Q_{III}}{P_{III}} = 1,0.$$

При этих условиях активная и реактивная составляющие трёхфазной нагрузки определяется выражением

$$P_{III} = Q_{III} = \frac{0,5S_{T. \text{НОМ}}}{\sqrt{2}}$$

После установки указанных значений активной и реактивной мощности следует закрыть текущее окно, т. е. перейти к компьютерной модели сети.

2. Путём поочерёдного открывания окон меню однофазных активно-индуктивных нагрузочных элементов «*Sab*», «*Sbc*», «*Sca*», задайтесь

мощностями однофазных электроприёмников, подключённых на линейные напряжения так, чтобы удовлетворялись условия:

$$P_{AB} = P_{BC} = P_{CA} = \frac{0,5S_{T.ном}}{3} \text{ и } Q_{AB} = Q_{BC} = Q_{CA} = 0,$$

в результате чего получите сеть с симметричной нагрузкой. При этом коэффициент загрузки трансформатора будет практически равен $K_{3,Т}=1,0$.

3. Путём нажатия левой клавишей курсора на затемнённый треугольник на панели инструментов (верхняя строчка окна с компьютерной моделью) запустите программу на проведение расчётов (см. рис. 3.5). В процессе расчётов затемнённый треугольник исчезает, а по окончании расчётов возвращается в исходное положение. Полученные результаты с экранов дисплеев перепишите в соответствующие ячейки первой строчки табл. 3.1.

4. С целью выявления влияния несимметрии нагрузок фаз ЛЭП и трансформатора повторите опыт по пунктам 2 и 3 при условиях:

$$P_{AB} = 0,5S_{T.ном}, \text{ кВт}; P_{BC} = P_{CA} = 0,001, \text{ кВт} \\ \text{и } Q_{AB} = Q_{BC} = Q_{CA} = 0.$$

Полученные результаты внесите во вторую строчку табл. 3.1.

Определите по ниже приведенным формулам отношения нагрузочных потерь активной мощности в трансформаторе, а также в ЛЭП, при работе их в режиме с несимметричной нагрузкой фаз, соответствующей условиям (3.7), к потерям активной мощности в указанных элементах при работе их с симметричной нагрузкой фаз, т. е. соответствующей условиям (3.6):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\Delta P_{T.несим}}{\Delta P_{T.сим}} = \frac{(I_{A.T}^2 + I_{B.T}^2 + I_{C.T}^2)R_T}{3I_{\Phi.T}^2 R_T} = \frac{I_{A.T}^2 + I_{B.T}^2 + I_{C.T}^2}{3I_{\Phi.T}^2}, \\ \frac{\Delta P_{Л.несим}}{\Delta P_{Л.сим}} = \frac{(I_{A.л}^2 + I_{B.л}^2 + I_{C.л}^2)R_{л}}{3I_{\Phi.л}^2 R_{л}} = \frac{I_{A.л}^2 + I_{B.л}^2 + I_{C.л}^2}{3I_{\Phi.л}^2}. \end{array} \right.$$

Здесь токи, указанные в числителях, принимаются из 2-й строки табл. 3.1, а в знаменателе – из 1-й строки.

По полученным данным сделайте выводы.

5. Путём поочерёдного открывания окон меню однофазных активно-индуктивных нагрузочных элементов «Sab», «Sbc» и «Sca», задайтесь мощностями однофазных электроприёмников, подключённых на линейные напряжения так, чтобы удовлетворялись условия:

– суммарная мощность однофазных электроприёмников

$$S_{\Phi.\Sigma} = \sqrt{P_{\Phi.\Sigma}^2 + Q_{\Phi.\Sigma}^2} = 0,5S_{T.ном};$$

– коэффициент мощности всех приёмников $\cos\varphi = 0,3$ или $\operatorname{tg}\varphi = 3,18$.

Таблица 3.1

Исходные данные и результаты, полученные на компьютерной модели сети

№ п/п	Параметры нагрузочных блоков										
	THREE- PHASE LOAD		Sab			Sbc			Sca		
	$P_{\text{ш}}$, кВт	$Q_{\text{ш}}$, квар	P_{AB} , кВт	Q_{AB} , квар	$\cos\varphi_{\text{AB}}$	P_{BC} , кВт	Q_{BC} , квар	$\cos\varphi_{\text{BC}}$	P_{CA} , кВт	Q_{CA} , квар	$\cos\varphi_{\text{CA}}$
1											
2											
...											
n											

Продолжение таблицы 3.1

№ п/п	Показания измерительного блока РИК1													
	Токи в фазах трансформатора, А			Активные (кВт) и реактивные (квар) мощности в фазах трансформатора						Линейные напряжения на выводах трансформатора и их симметричные составляющие, В				
	$I_{\text{A.T}}$	$I_{\text{B.T}}$	$I_{\text{C.T}}$	$P_{\text{A.T}}$	$P_{\text{B.T}}$	$P_{\text{C.T}}$	$Q_{\text{A.T}}$	$Q_{\text{B.T}}$	$Q_{\text{C.T}}$	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_{A1}	U_{A2}
1														
2														
...														
n														

Окончание таблицы 3.1

№ п/п	Показания измерительного блока РИК3													
	Токи в фазах ЛЭП, А			Активные (кВт) и реактивные (квар) мощности в фазах ЛЭП						Линейные напряжения в конце ЛЭП и их симметричные составляющие, В				
	$I_{\text{A.л}}$	$I_{\text{B.л}}$	$I_{\text{C.л}}$	$P_{\text{A.л}}$	$P_{\text{B.л}}$	$P_{\text{C.л}}$	$Q_{\text{A.л}}$	$Q_{\text{B.л}}$	$Q_{\text{C.л}}$	U_{AN}	U_{BN}	U_{CN}	U_{A1}	U_{A2}
1														
2														
...														
n														

Тогда вышеприведенное условие (3.9) можно записать в виде

$$P_{\phi,\Sigma} \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_{\phi}} = 0,5 S_{\text{т.ном}}$$

откуда активная составляющая мощности однофазных электроприёмников

$$P_{\phi, \Sigma} = \frac{0,5 S_{T, \text{НОМ}}}{\sqrt{1 + (\operatorname{tg} \varphi_{\phi})^2}}$$

С целью обеспечения чистоты эксперимента, направленного на определение коэффициентов приведения однофазных нагрузок, включённых на междуфазные напряжения, к соответствующим фазам, условимся о том, что: – от расчётного узла питаются три однофазных электроприёмника, подключённых на разные линейные напряжения;

– активная мощность электроприёмника, подключённого на линейное напряжение U_{AB} , $P_{AB} = P_{\phi \Sigma}$ а мощности двух других, подключённых на линейные напряжения U_{BC} и U_{CA} , ничтожно малы и составляют всего 0,001 кВт.

Реактивную составляющую мощности однофазных электроприёмников

определим по выражению $Q_{\phi, \Sigma} = P_{\phi, \Sigma} \operatorname{tg} \varphi_{\phi}$.

После задания новых значений мощностей однофазных электроприёмников запустите программу в режим вычислений. По завершению расчётов полученные результаты с экранов дисплеев перенесите в табл. 3.1.

6. Расчёты по пункту 5 повторите при значениях $\cos \varphi_{\phi} = 0,4; 0,6; 0,8$ и $0,9$. При этом активная и реактивная мощности однофазного электроприёмника определяются по формулам (3.10) и (3.11). Полученные результаты заносятся в табл. 3.1.

7. Используя полученные на компьютерной модели данные, сведённые в табл. 3.1, определите коэффициенты приведения однофазной нагрузки, включённой на междуфазное напряжение U_{AB} , к фазам А и В по формулам

$$k_{(AB)A} = \frac{P_{A,л}}{P_{AB}} = \frac{P_{A,л}}{P_{A,л} + P_{B,л}}; \quad k_{(AB)B} = \frac{P_{B,л}}{P_{AB}} = \frac{P_{B,л}}{P_{A,л} + P_{B,л}};$$

$$q_{(AB)A} = \frac{Q_{A,л}}{P_{AB}} = \frac{Q_{A,л}}{P_{A,л} + P_{B,л}}; \quad q_{(AB)B} = \frac{Q_{B,л}}{P_{AB}} = \frac{Q_{B,л}}{P_{A,л} + P_{B,л}}.$$

Полученные результаты занесите в таблицу 3.2.

Определите эти же коэффициенты по формулам (3.2)–(3.5), и полученные результаты также внесите в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Зависимости коэффициентов приведения активной и реактивной составляющих однофазной нагрузки, питающейся на линейном напряжении, от коэффициента мощности $\cos \varphi_{\phi}$

Коэффициенты приведения, найденные		Коэффициент мощности однофазной нагрузки $\cos \varphi_{\phi}$					
		0,3	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0
по данным табл. 3.1, формулы (3.13) и (3.14)	$k_{(AB)A}$						
	$k_{(AB)B}$						
	$q_{(AB)A}$						
	$q_{(AB)B}$						
по формулам (3.2)–(3.5)	$k_{(AB)A}$						
	$k_{(AB)B}$						
	$q_{(AB)A}$						
	$q_{(AB)B}$						

Используя данные табл. 3.1 во всех рассмотренных нагрузочных режимах работы сети определите коэффициенты несимметрии по напряжению обратной последовательностей на вводах низкого напряжения трансформатора и в конце ЛЭП 380 В:

$$K_{U2} = \frac{U_{A2}}{U_{A1}} 100 \%$$

а также степень несимметрии нагрузок фаз трансформатора

$$\delta I_{\tau} = \frac{I_{\text{ф.т. макс}} - I_{\text{ф.т. мин}}}{I_{\text{ф.т. мин}}} 100 \%$$

Используя формулы (3.8) рассчитайте отношения нагрузочных потерь активной мощности в трансформаторе, а также в ЛЭП, при работе их в режиме с несимметричной загрузкой фаз, соответствующей условиям (3.7), к потерям активной мощности в указанных элементах при работе их с симметричной нагрузкой фаз, т. е. соответствующей условиям (3.6).

Полученные результаты расчётов по формулам (3.8), (3.14), (3.15) сведите в табл. 3.3.

8. С целью определения допустимой степени несимметрии нагрузок фаз с точки зрения обеспечения допустимого значения коэффициента несимметрии по напряжению обратной последовательности $K_{U2\text{доп}}$ примите значение коэффициента мощности однофазного электроприёмника $\cos \varphi_{\phi}$, под ключённого между фазами А и В, при котором $K_{U2} = \max$. Для идентификации такого значения $\cos \varphi_{\phi}$ примите его равным $\cos \varphi_{\phi 1}$ и далее работу проведите в следующей последовательности:

Таблица 3.3

Коэффициент мощности однофазного электроприёмника		0,3	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0
Коэффициент несимметрии по напряжению обратной последовательности, $K_{U2}, \%$	Т						
	ЛЭП						
Степень несимметрии нагрузок фаз трансформатора, $\delta I_T, \%$							
$\frac{\Delta P_{T.несим}}{\Delta P_{T.сим}} 100 \%$							
$\frac{\Delta P_{Л.несим}}{\Delta P_{Л.сим}} 100 \%$							

8.1. Увеличивая в нагрузке трансформатора долю мощности, обусловленной трёхфазными электроприёмниками, $\beta_{III} = S_{III} / S_{T.ном}$ от 0,5 до 0,9 с шагом $\Delta\beta_{III}=0,1$ и сохраняя при этом неизменными коэффициент мощности трёхфазной нагрузки $\cos\varphi_{III}$, коэффициент загрузки трансформатора $K_{з.т}$ и коэффициент мощности однофазной нагрузки $\cos\varphi_{\phi} = \cos\varphi_{\phi 1}$ по нижеприведенной формуле (3.16) для каждого значения β_{III} *рассчитайте величину активной мощности эквивалентного однофазного электроприёмника $P_{\phi i}$.*

Коэффициент мощности трёхфазной нагрузки $\cos\varphi_{III}$ в соответствии с п.1 равен 0,707

Таблица 3.4

Активные составляющие мощности P_{ϕ} эквивалентного однофазного электроприёмника при различных значениях $\beta_{III} = S_{III} / S_{T.ном}$

$S_{T.ном},$ кВ·А	$K_{з.т}$	$\cos\varphi_{III}$	$\cos\varphi_{\phi 1}$	Коэффициент загрузки трансформатора, обусловленный трёхфазной нагрузкой, β_{III}				
				0,5	0,6	0,7	0,8	0,9

8.2. Воспользовавшись данными, приведенными в табл. 3.4, определите значения активной и реактивной составляющих трёхфазной нагрузки и реактивной составляющей однофазной при каждом заданном в табл. 3.4 значении коэффициента β_{III} , используя приведенные ниже выражения:

$$P_{III i} = \beta_{III i} S_{T.ном} \cos\varphi_{III};$$

$$Q_{III i} = \beta_{III i} S_{T.ном} \sin\varphi_{III};$$

$$Q_{\phi i} = P_{\phi i} \operatorname{tg}\varphi_{\phi 1}.$$

Полученные результаты занесите в таблицу 3.5.

8.3. Приняв коэффициент $\beta_{III} = 0,5$, задайтесь в нагрузочных блоках компьютерной модели сети соответствующими значениями активных и реактивных составляющих однофазной и трёхфазной нагрузок. Численные величины указанных мощностей приведены в табл. 3.5. Запустите программу на выполнение расчётов. Полученные результаты занесите в табл. 3.1.

8.4. Используя полученные в п. 8.3 данные (см. табл. 3.1) рассчитайте по формулам (3.14)–(3.15) степень несимметрии нагрузок фаз трансформатора по токовой нагрузке δI , и по активной мощности δP , а также коэффициент несимметрии по напряжению обратной последовательности K_{U2} . Полученные результаты занесите в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Параметры однофазной и трёхфазной нагрузок при коэффициенте загрузки трансформатора $K_{з.т} = 1$ и степени несимметрии нагрузок фаз ЛЭП и трансформатора

β_{III}	Параметры трёхфазной нагрузки				Параметры однофазной нагрузки, подключённой на линейное напряжение				Несимметрия загрузки фаз по		Коэффициенты несимметрии по напряжению обратной последовательности K_{U2} , %	
									току	активной мощности		
	$\cos\varphi_{III}$	$\operatorname{tg}\varphi_{III}$	P_{III} , кВт	Q_{III} , квар	$\cos\varphi_{\phi 1}$	$\operatorname{tg}\varphi_{\phi 1}$	P_{ϕ} , кВт	Q_{ϕ} , квар	$\delta I_{т}$, %	$\delta P_{т}$, %	На вводах НН трансформатора	В конце ЛЭП
0,5												
0,6												
0,7												
0,8												
0,9												

Контрольные вопросы

1. К каким нежелательным последствиям может привести наличие однофазных электроприёмников, подключённых к сети?
2. Какое воздействие оказывает на работу электродвигателей наличие в сети напряжение обратной последовательности?
3. Назовите основные пути снижения отрицательных последствий, которые могут быть вызваны однофазными электроприёмниками?
4. Почему при определении расчётных активной и реактивной мощностей в узлах совместного питания однофазных и трёхфазных электроприёмников следует определять наиболее загруженную однофазными электроприёмниками фазу?
5. Какими критериями следует руководствоваться при определении наиболее загруженной фазы?
6. Почему при несимметрии нагрузок фаз сети возрастают потери энергии? Докажите на конкретном примере.
7. Как принято оценивать степень несимметрии нагрузок фаз?

8. Каким условиям должны удовлетворять коэффициенты приведения, с помощью которых находятся распределения активной и реактивной составляющих нагрузки, обусловленной однофазным электроприёмником, подключённым на линейное напряжение, например, между фазами, А и В?
9. От чего зависят численные значения коэффициентов приведения?

Список литературы

1. Электротехника: Учебное пособие для вузов. – В 3-х книгах. Книга III. Электроприводы. Электроснабжение / Под ред. П.А. Бутырина, Р.Х. Гафиятуллина, А.Л. Шестакова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 639 с.
2. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
3. Электрические нагрузки промышленных предприятий / С.Д. Волобринский, Г.М. Каялов, П.Н. Клейн, Б.С. Мешель. – М.-Л.: Изд-во «Энергия», 1964. – 304 с.
4. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд., перераб. И доп. – М.: БЮРО ДИЗАЙН, 2003. – 726 с.
5. ГОСТ 18410-73. Кабели силовые с пропитанной бумажной изоляцией. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. – 23 с.
6. Фёдоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.
7. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки (с изменением № 1). – М.: Стандартиформ, 2009.
8. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. В 2-х кн. Кн.1. Проектно-расчётные сведения. / Под общ. ред. А.А. Фёдорова и Г.В. Сербиновского. – М.: «Энергия», 1973. – 520 с.
Техн. редактор

Приложение к лабораторной работе №2

Таблица П.1

Показания счётчиков активной и реактивной энергии

Часы замеров	Зимние сутки				Летние сутки			
	рабочие		выходные		рабочие		выходные	
	W , кВт·ч	U , квар·ч	W , кВт·ч	U , квар·ч	W , кВт·ч	U , квар·ч	W , кВт·ч	U , квар·ч
0.00	30,00	60,00	25,00	40,00	40,00	15,00	10,00	35,00
1.00	30,43	60,37	25,23	40,27	40,35	15,31	10,25	35,24
2.00	30,85	60,74	25,45	40,54	40,70	15,62	10,50	35,48
3.00	31,28	61,10	25,68	40,80	41,05	15,92	10,75	35,72
4.00	31,73	61,49	25,90	41,07	41,40	16,23	11,00	35,96
5.00	32,18	61,87	26,13	41,34	41,75	16,54	11,25	36,20
6.00	32,65	62,26	26,35	41,61	42,13	16,86	11,53	36,46
7.00	33,13	62,65	26,58	41,88	42,50	17,17	11,80	36,72
8.00	33,60	63,04	26,80	42,14	42,88	17,49	12,08	36,98
9.00	34,10	63,44	27,00	42,40	43,25	17,80	12,35	37,22
10.00	34,60	63,84	27,20	42,65	43,63	18,12	12,63	37,46
11.00	35,10	64,24	27,40	42,90	44,00	18,44	12,90	37,70
12.00	35,58	64,62	27,60	43,15	44,43	18,78	13,20	37,98
13.00	36,05	65,01	27,80	43,40	44,85	19,12	13,50	38,26
14.00	36,50	65,39	28,00	43,66	45,28	19,47	13,80	38,54
15.00	36,95	65,77	28,20	43,91	45,70	19,81	14,10	38,82
16.00	37,44	66,16	28,40	44,16	46,09	20,13	14,38	39,08
17.00	37,92	66,56	28,60	44,41	46,47	20,45	14,65	39,34
18.00	38,41	66,95	28,80	44,66	46,86	20,77	14,93	39,60
19.00	38,88	67,33	29,03	44,93	47,31	21,13	15,28	39,92
20.00	39,36	67,72	29,25	45,20	47,76	21,49	15,63	40,24
21.00	39,81	68,10	29,48	45,47	48,21	21,85	15,98	40,56
22.00	40,26	68,48	29,70	45,74	48,61	22,18	16,30	40,84
23.00	40,68	68,84	29,93	46,00	49,01	22,51	16,63	41,12
24.00	41,11	69,20	30,15	46,27	49,36	22,82	16,88	41,36

Таблица П.13

Коэффициенты трансформации измерительных трансформаторов тока и напряжения

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$K_{\text{ТТ}}$	20	30	40	50	60	75	20	30	40	50	75	10	20	30	40	50
$K_{\text{ТН}}$	60					100					350					

Таблица П.14

Число характерных суток в году

Номер варианта	Зима		Лето	
	Рабочих	Выходных	Рабочих	Выходных
1	161	65	100	39
2	145	83	110	27
3	150	77	107	31
4	175	49	100	41
5	155	70	120	20
6	153	73	97	42
7	140	55	125	45
8	145	55	115	50
9	135	65	100	65
10	160	67	100	38
11	166	60	110	29
12	165	59	101	40
13	130	65	140	30
14	158	70	100	37
15	156	70	110	30
16	176	50	100	39