

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ
СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ
«БОГДАНОВИЧСКИЙ ПОЛИТЕХНИКУМ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических работ

МДК 01.04 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОТРАСЛИ

по специальности

13.02.11 «Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и
электромеханического оборудования (по отраслям)»

ЗАОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

2022

Организация-разработчик: ГАПОУ СО «Богдановичский политехникум»

Разработчик:

Кудряшова Т.А., преподаватель высшей квалификационной категории ГАПОУ СО «Богдановичский политехникум», г. Богданович

Рассмотрено на заседании Методического совета

протокол № _____ от «___» _____ 2022 г.

Председатель: _____ / Е.В. Снежкова

СОДЕРЖАНИЕ

1 Пояснительная записка	4
2 Перечень практических занятий	6
Практическое занятие 1 Определение местоположения подстанции	7
Практическое занятие 2 Определение потерь мощности и энергии в линиях и трансформаторах	15
3 Критерии оценки отчетных работ	24
4 Рекомендуемые источники информации	25
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Правила выполнения лабораторных работ	26

1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические рекомендации составлены в соответствии с рабочей программой профессионального модуля ПМ.01 «Организация простых работ по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования»

Практические занятия являются одним из важнейших элементов учебного процесса. При проведении практических занятий преследуются три основные цели: возможность на практике убедиться в теоретических положениях; развитие творческого мышления; пробудить любознательность и воображение студента. Поэтому для каждого студента умение решать задачи является одним из главных требований при изучении МДК.

Результатом выполнения практических занятий является овладение обучающимися видом деятельности Организация простых работ по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования: в том числе профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями:

Код	Наименование результата обучения
ПК 1.1	Выполнять наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования.
ПК 1.2	Организовывать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования.
ПК 1.3.	Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования.
ОК 01	Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности, применительно к различным контекстам
ОК 02	Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности
ОК 03	Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие.
ОК 04	Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами.
ОК 05	Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста.
ОК 06	Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей.
ОК 07	Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях.
ОК 09	Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности
ОК 10	Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках

Программой ПМ.01 предусмотрено выполнение двух практических работ.

В методических рекомендациях к практическим работам приведены необходимые теоретические сведения, порядок проведения работы, содержание отчета.

Предварительная подготовка обучающихся к практической работе, понимание ее цели и содержания – важнейшее условие качественного выполнения работ. Поэтому прежде чем приступить к выполнению практической работы, обучающиеся должны:

- ✓ изучить содержание работы и порядок ее выполнения;

✓ повторить теоретический материал, связанный с выполнением данной работы.

Завершается практическая работа составлением отчета, который должен содержать все необходимые результаты и выводы.

Если работа сдается в тот же день, на том же занятии, то оценивание идет только по критериям оценивания к работе. Если работа сдается в другой день, то по практической работе сдается зачет в форме собеседования.

Зачет по практической работам является обязательным для получения допуска к дифференцированному зачету.

2 ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Тема	Вид, название и краткое содержание задания	Планируемые часы на выполнение внеаудиторной работы	Форма отчетности и контроля
1	Практическая работа №1 Определение местоположения подстанции <u>Цель работы:</u> - научиться определять центр электрических нагрузок и месторасположение цеховых ТП, начертить картограмму нагрузок	2	отчетная работа №1, собеседование
2	Практическая работа №2 Определение потерь мощности и энергии в линиях и трансформаторах <u>Цель работы:</u> - освоить методику определения потерь мощности и энергии в электрических сетях, времени использования максимальной нагрузки и времени потерь с использованием графика	2	отчетная работа №2, собеседование

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

Тема: Определение местоположения подстанции

Цель: научиться определять центр электрических нагрузок и месторасположение цеховых ТП, начертить картограмму нагрузок.

Студент должен

знать:

- последовательность выполнения расчета и условия выбора местоположения цеховой подстанции;

уметь:

- рассчитывать и выбирать центр нагрузки на плане предприятия.

Краткие теоретические сведения

Подстанция, будь то ГПП, либо ТП является одним из основных звеньев системы электроснабжения любого промышленного предприятия. Поэтому оптимальное размещение подстанций на территории предприятия является наиважнейшим вопросом. Проектирование систем электроснабжения предприятия начинается, когда уже известен генеральный план проектируемого предприятия с расположением производственных цехов, зданий и сооружений, а так же подъездными путями. Расположение всех строений обусловлено технологическим процессом предприятия.

На генеральном плане указываются расчётные мощности всего предприятия. Кроме этого известны графики электрических нагрузок по каждому цеху, режимы работы электроприёмников и сменность предприятия. Первоначальной и важнейшей задачей является оптимальное размещение ГПП и ТП на территории. Это означает, что размещение всех подстанций должно соответствовать наиболее рациональному сочетанию капитальных затрат на сооружение системы электроснабжения и эксплуатационных расходов.

Для решения поставленной задачи на генеральный план промышленного предприятия наносится картограмма нагрузок.

Картограмма нагрузок

Картограмма нагрузок предприятия представляет собой размещённые на генеральном плане окружности. Площади, ограниченные этими окружностями соответствуют расчётным нагрузкам участка. Для каждого цеха или отдельного участка наносится своя окружность, причём центр окружности совпадает с центром нагрузки цеха. Центр нагрузок цеха, или всего предприятия, является символическим центром потребления электрической энергии цеха или предприятия. ГПП, цеховые ТП поэтому следует располагать как можно ближе к центру нагрузок, так как это позволяет приблизить высокое напряжение к центру потребления электрической энергии и значительно сократить протяжённость, как распределительных сетей высокого напряжения, так и цеховых распределительных сетей низкого напряжения, уменьшить расход проводникового материала и снизить потери электрической энергии.

Картограмма нагрузок позволяет проектировщику достаточно наглядно представить

распределение нагрузок на территории промышленного предприятия. Как уже отмечалось, картограмма нагрузок предприятия состоит из окружностей, и площадь, ограниченная окружностью πr^2 в выбранном масштабе m равна расчётной нагрузке соответствующего цеха P_i :

$$P_i = \pi r^2 \cdot m \quad (1.1)$$

откуда радиус:

$$r = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}} \quad (1.2)$$

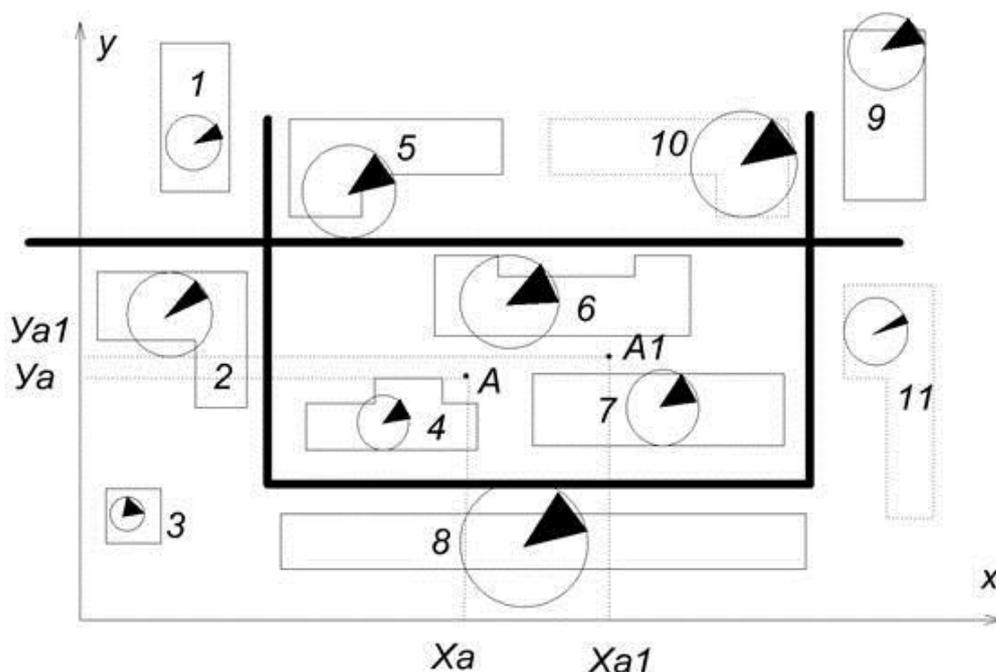


Рисунок 1.1 - Картограмма нагрузок цехов промышленного предприятия для активной нагрузки

Пунктиром нанесены цеха, которые должны быть построены с учётом перспективы развития. Точка A – центр нагрузок без учёта расширения производства, $A1$ – центр нагрузок с учётом расширения.

На рисунке 1.1 изображена картограмма активных нагрузок промышленного предприятия с учётом его возможного расширения. Площадь круга характеризует величину всей нагрузки цеха, а площадь сектора – величину осветительной нагрузки. В этом случае картограмма даёт представление не только о значении нагрузок, но и об их структуре. Картограммы следует наносить на генеральный план предприятия отдельно для активной и для реактивных нагрузок (рис 1.2). Это обусловлено тем, что питание активных и реактивных нагрузок производится от разных источников.

Питание активных нагрузок обеспечивается обычно от подстанций энергосистемы или от собственной электростанции. Питание реактивных нагрузок осуществляется от конденсаторных батарей, располагаемых в местах потребления реактивной мощности, либо

от синхронных компенсаторов, которые также располагаются, как правило, вблизи мест потребления реактивной мощности. Неправильный выбор места установки синхронных компенсаторов вызывает перемещение потоков реактивной мощности по элементам системы электроснабжения предприятия и вызывает потери электроэнергии.

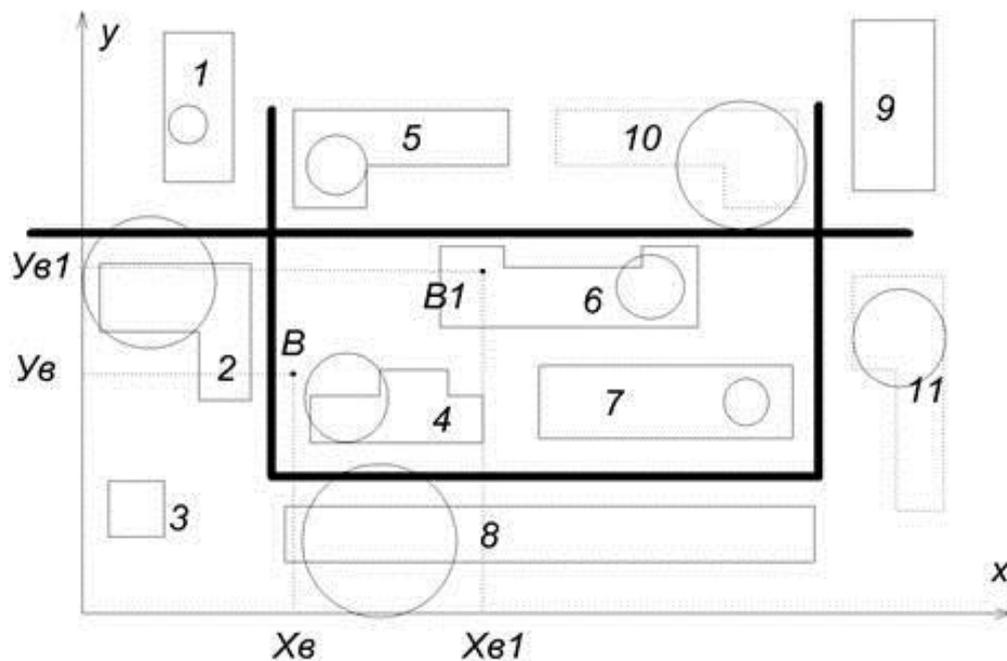


Рисунок 1.2 - Картограмма нагрузок цехов промышленного предприятия для реактивной нагрузки

Точка В – центр нагрузок без учёта расширения производства, В1 – центр нагрузок с учётом расширения.

Картограмма для активных нагрузок предназначена для выбора рационального места расположения ГПП. Картограмма реактивных нагрузок помогает определить рациональное размещение компенсирующих устройств в конкретной системе электроснабжения предприятия.

Определение условного центра электрических нагрузок

В настоящее время существует ряд методов для аналитического определения центра электрических нагрузок.

Первый рассматриваемый метод позволяет определить центр нагрузок цеха приближённо. Так, если считать нагрузки цеха равномерно распределёнными по площади цеха, то центр нагрузок можно принять совпадающим с центром тяжести фигуры, изображающей цех в плане. Если учитывать действительное распределение нагрузки в цехе, то центр нагрузок уже не будет совпадать с центром тяжести фигуры цеха, и нахождение центра нагрузок сведётся к определению центра тяжести данной системы масс.

Наличие многоэтажных зданий цехов требует учитывать третью координату z .

Проведя аналогию между массами и электрическими нагрузками цехов P_i , координаты их центра можно определить:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_i}; \quad y = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (1.3)$$

Как показала практика проектирования систем электроснабжения, учёт третьей координаты z не требуется.

Этот метод отличается простотой, наглядностью, но точность расчётов лежит в пределах 10 %.

Разновидностью первого метода является метод, учитывающий не только электрические нагрузки потребителей, но и продолжительность работы T_i этих потребителей в течение расчётного периода времени:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot T_i}; \quad y = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot T_i} \quad (1.4)$$

Другие методы являются более трудоёмкими, особенно в сложных системах электроснабжения, но они могут быть использованы, когда необходима высокая точность расчётов.

Следует учесть то обстоятельство, что линии, которые связывают потребителей нагрузок с подстанцией (ГПП или ТП), координаты которой мы находим, принимаются прямолинейными. В действительности, если схема электроснабжения задана, то в зависимости от характера технологического процесса, расположения других коммуникаций и других факторов, конфигурация распределительной сети предприятия будет такова, что линии будут отклоняться от прямолинейных.

Все известные методы нахождения центра нагрузок сводятся к тому, что центр определяется как некоторая постоянная точка на генплане промышленного предприятия. Но, строго говоря, центр электрических нагрузок постоянно изменяет своё место расположение, например, из-за включения и отключения потребителей. Поэтому найденный центр нагрузок следует рассматривать как условный центр, так как определение его ещё не решает до конца задачи выбора местоположения подстанций.

Постоянное изменение местоположения центра нагрузок объясняется следующими причинами:

- 1) изменениями потребляемой отдельным приёмником, цехом мощности в соответствии с графиком нагрузок; график нагрузок постоянно претерпевает изменения с внедрением новых производственных процессов, внедрением нового оборудования и т.д.;
- 2) изменениями сменности предприятия;
- 3) развитием предприятия во времени.

Поэтому центр нагрузок описывает на генплане предприятия фигуру сложной формы, и поэтому правильнее говорить о зоне рассеяния центра нагрузок.

Для построения зоны рассеяния центра нагрузок используется один из методов оптимизационной задачи. В настоящее время используются два метода для решения этой задачи: статический и динамический.

При статическом методе не учитываются изменения электрических нагрузок, что может привести к принятию нерационального размещения подстанции.

При динамическом методе получаемые решения являются более обоснованными, так как учитывается изменение системы в длительный период времени. Но такой подход требует ряд дополнительных сведений, которые на начальном этапе работы предприятия не могут

быть получены, особенно при нынешнем положении дел.

Методика расчета

Определить местоположение подстанции — это значит найти координаты центра нагрузок.

По исходным данным построить оси X и Y генплана и нанести центры электрических нагрузок (ЦЭН) каждого цеха.

С учетом размеров территории генплана выбрать масштаб нагрузок, ориентируясь на наибольшую и наименьшую, приняв удобный радиус.

$$m_a = \frac{P_{\text{нм}}}{\pi R_{\text{нм}}^2} \quad m_p = \frac{Q_{\text{нм}}}{\pi R_{\text{нм}}^2}$$
$$m_a = \frac{P_{\text{нб}}}{\pi R_{\text{нб}}^2} \quad m_p = \frac{Q_{\text{нб}}}{\pi R_{\text{нб}}^2}$$

где m — масштаб нагрузок, кВт/км или кВАр/км ;

$P_{\text{нм}}, Q_{\text{нм}}$ — наименьшая мощность цеха, кВт или кВАр;

$R_{\text{нм}}$ — наименьший визуально воспринимаемый радиус картограммы нагрузки, км.

Величина m округляется и принимается как для активных, так и для реактивных нагрузок.

Определяются радиусы кругов активных и реактивных нагрузок всех цехов

$$R_a = \sqrt{\frac{P}{\pi m_a}} \quad R_p = \sqrt{\frac{Q}{\pi m_p}}$$

где R_a и R_p — радиусы реактивной и активной нагрузок, км;

P и Q — активная и реактивная нагрузки цехов, кВт и кВАр;

m_a, m_p — масштаб нагрузок активной и реактивной, кВт/км или кВАр/км².

Если даны только P и $\cos \varphi$, то

$$Q = P \operatorname{tg} \varphi$$

• Определяются условные координаты ЦЭН всего предприятия

$A(X_{a0}; Y_{a0})$ — местоположение ГПП:

$$X_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i X_i}{\sum_{i=1}^n P_i}; \quad Y_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i Y_i}{\sum_{i=1}^n P_i};$$

$B(X_{p0}; Y_{p0})$ — местоположение ККУ,

$$X_{p0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i X_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}; \quad Y_{p0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i Y_i}{\sum_{i=1}^n Q_i};$$

где X_{a0}, Y_{a0} — координаты ЦЭН активных, км;
 X_{a0}, Y_{a0} — координаты ЦЭН реактивных, км;
 ККУ — комплектное компенсирующее устройство;
 ГПП — главная понизительная подстанция.

Составляется картограмма нагрузок, на которую наносятся все необходимые данные.

Примечания.

1. Картограмму нагрузок можно составить для цеха и определить ЦЭН, т. е. определить место установки внутрицеховой ТП.
2. Величина нагрузок на генплане изображается кругами, площадь которых пропорциональна им.
3. Варианты исходных данных для построения картограммы электрических нагрузок предприятия заданы в таблице 1.1
4. Пример определения центра электрических нагрузок предприятия представлен на рисунке 1.3

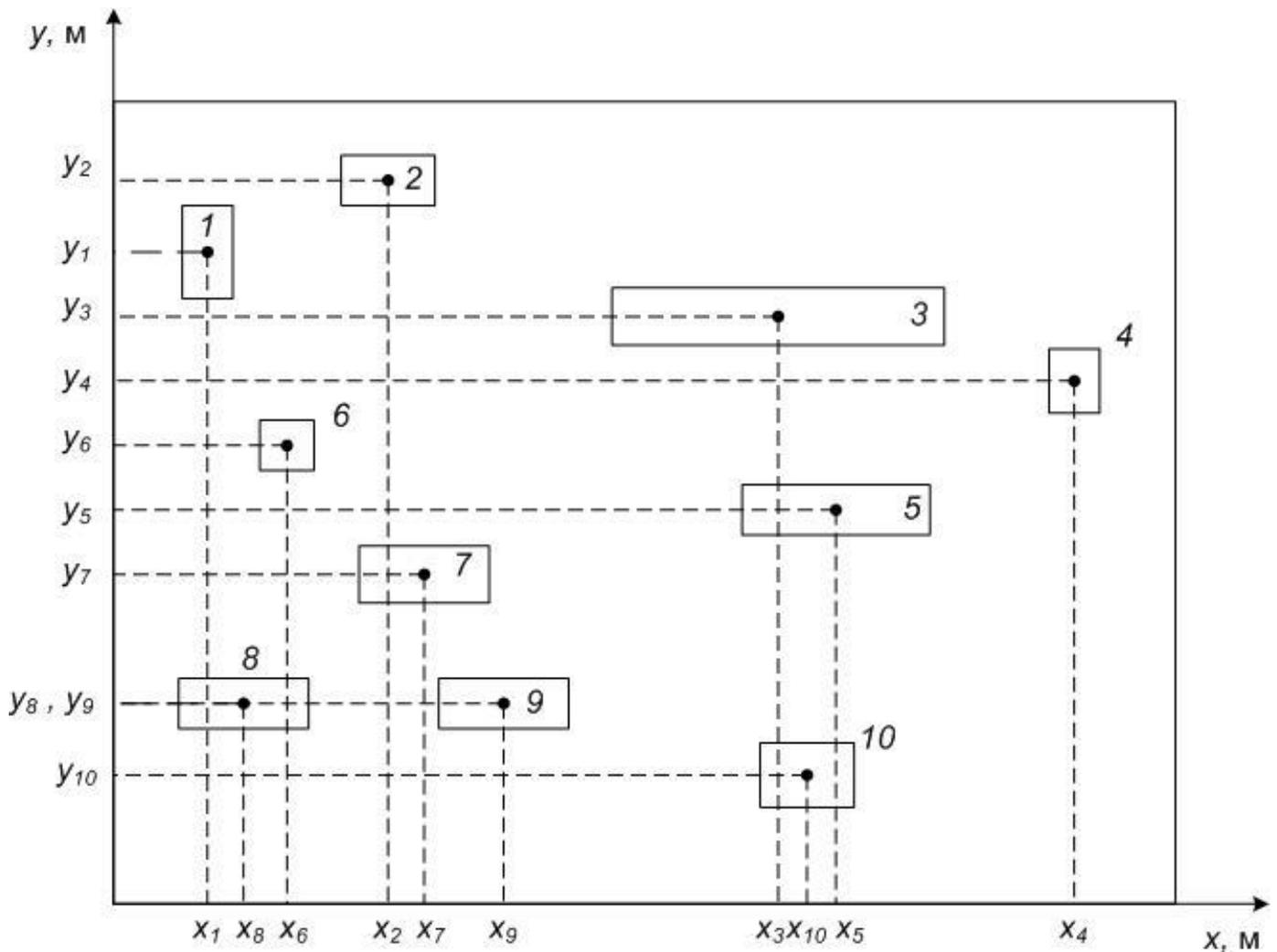


Рисунок 1.3 - Определение центра электрических нагрузок предприятия

Варианты исходных данных для построения картограммы электрических нагрузок предприятия

Таблица 1.1 – Исходные данные к индивидуальному заданию

Ва риант	Цех 1		Цех 2		Цех 3		Цех 4		Цех 5	
	<i>x</i> , м	<i>y</i> , м								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	435	80	250	125	200	200	110	300	460	250
2	175	470	455	380	620	340	460	250	110	300
3	455	350	620	340	460	250	110	300	200	210
4	620	340	460	250	110	300	200	200	80	125
2	460	250	110	300	210	200	80	125	250	125
6	110	300	200	200	80	125	250	125	435	80
7	200	200	80	125	250	125	435	80	60	130
8	60	125	250	125	435	80	60	130	175	470
9	250	125	435	80	60	130	175	470	455	380
10	435	80	60	130	175	470	455	380	620	340
11	250	125	80	125	200	200	110	300	460	250
12	80	125	200	200	110	300	460	250	620	340
13	200	200	110	300	460	250	620	340	455	380
14	110	300	460	250	620	340	455	280	178	470
15	460	250	620	340	455	360	175	470	60	130
16	620	340	455	360	175	470	60	130	435	80
17	455	380	175	470	60	130	435	80	250	125
18	175	470	60	130	435	80	250	125	80	125
19	60	130	435	80	250	125	80	125	110	300
20	175	470	620	340	110	300	80	125	435	80

Контрольные вопросы

- 1 Чем обуславливается местоположение ГПП и цеховых ТП?
- 2 Что такое «картограмма нагрузок»? Для чего она строится?
- 3 Каким образом определяется цент нагрузки?
- 4 Какими причинами объясняется постоянное изменение местоположения центра нагрузок?

Содержание отчета

- 1 Наименование, номер, тема и цель работы
- 2 Исходные данные в соответствии со своим вариантом.
- 3 Расчет с указанием цели каждого этапа.
- 4 Система координат с указанными координатами центров нагрузок и местоположением ГПП
- 5 Ответы на контрольные вопросы
- 6 Вывод по работе

Критерии оценивания практической работы № 1

Практическая работа составлена в 20 вариантах и ее выполнение обучающимися рассчитано на 2 учебных часа. Номер варианта соответствует порядковому номеру в журнале теоретического обучения.

Таблица 1.2- Критерии оценивания практической работы

Оцениваемый параметр	Максимальный балл
Записаны наименование, номер, тема и цель урока	1
Записано условие задания с указанием единиц измерения физических величин	2
Указана цель каждого этапа решения задания	5
- выбран масштаб нагрузок	2
- определены радиусы кругов активных и реактивных нагрузок всех цехов	20
- определены координаты местоположения ГПП (X_{a0} и Y_{a0})	4
- определены координаты местоположения ККУ (X_{p0} и Y_{p0})	4
- составлена картограмма нагрузок, на которую нанесены все необходимые данные	20
При выполнении расчета указаны единицы измерения физических величин	5
Даны ответы на контрольные вопросы	4
Сделан вывод по работе	1
ИТОГО:	68

Оценка результатов выполнения задания производится в соответствии с универсальной шкалой:

Процент результативности (правильных ответов)	Кол-во баллов	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
		балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	62 - 68	5	отлично
80 ÷ 89,9	55 – 61,9	4	хорошо
70 ÷ 79,9	47 – 54,9	3	удовлетворительно
менее 70	менее 47	2	не удовлетворительно

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

Тема: Определение потерь мощности и энергии в линиях и трансформаторах

Цель: освоить методику определения потерь мощности и энергии в электрических сетях, времени использования максимальной нагрузки и времени потерь с использованием графика

Студент должен

знать:

- характеристики трансформаторов;
- методику определения потерь мощности и энергии в линиях и трансформаторах;

уметь:

- пользоваться справочными данными и расчетными формулами

Краткие теоретические сведения

Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах и автотрансформаторах разделяются на потери в стали и потери в меди (нагрузочные потери). Потери в стали – это потери в проводимостях трансформаторов. Они зависят от приложенного напряжения. Нагрузочные потери – это потери в сопротивлениях трансформаторов. Они зависят от тока нагрузки.

Потери активной мощности в стали трансформаторов – это потери на перемагничивание и вихревые токи. Определяются потерями холостого хода трансформатора, которые приводятся в его паспортных данных.

Потери реактивной мощности в стали определяются по току холостого хода трансформатора, значение которого в процентах приводится в его паспортных данных:

$$\Delta Q_{ст} = \Delta Q_x = \frac{I_x}{100} \cdot S_{ном} \quad (2.1)$$

Потери мощности в обмотках трансформатора можно определить двумя путями:

- по параметрам схемы замещения;

- по паспортным данным трансформатора.

Потери мощности по параметрам схемы замещения определяются по тем же формулам, что и для ЛЭП:

$$\Delta P_{\text{мд}} = \frac{S^2}{U^2} \cdot R_{\text{т}}; \quad \Delta Q_{\text{мд}} = \frac{S^2}{U^2} \cdot X_{\text{т}} \quad (2.2)$$

где S – мощность нагрузки;

U – линейное напряжение на вторичной стороне трансформатора.

Для трехобмоточного трансформатора или автотрансформатора потери в меди определяются как сумма потерь мощности каждой из обмоток.

Получим выражения для определения потерь мощности по паспортным данным двухобмоточного трансформатора.

Потери короткого замыкания, приведенные в паспортных данных, определены при номинальном токе трансформатора

$$\Delta P_{\text{к}} = 3 \cdot I_{\text{НОМ}}^2 \cdot R_{\text{т}} = \frac{S_{\text{НОМ}}^2}{U_{\text{НОМ}}^2} \cdot R_{\text{т}} \quad (2.3)$$

При любой другой нагрузке потери в меди трансформатора равны

$$\Delta P_{\text{мд}} = 3 \cdot I^2 \cdot R_{\text{т}} = \frac{S^2}{U_{\text{НОМ}}^2} \cdot R_{\text{т}} \quad (2.4)$$

Разделив выражение (2.3) на (2.4), получим

$$\frac{\Delta P_{\text{к}}}{\Delta P_{\text{мд}}} = \frac{S_{\text{НОМ}}^2}{S^2} \quad (2.5)$$

Откуда найдем $\Delta P_{\text{мд}}$:

$$\Delta P_{\text{мд}} = \Delta P_{\text{к}} \cdot \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \quad (2.6)$$

Если в выражение для расчета $\Delta Q_{\text{мд}}$, подставить выражение для определения реактивного сопротивления трансформатора, то получим:

$$\Delta Q_{\text{мд}} = \frac{S^2}{U_{\text{НОМ}}^2} \cdot X_{\text{т}} = \frac{S^2}{U_{\text{НОМ}}^2} \cdot \frac{U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{НОМ}}} \quad (2.7)$$

Таким образом, полные потери мощности в двухобмоточном трансформаторе равны:

$$\Delta P_T = \Delta P_x + \Delta P_k \cdot \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \quad (2.8)$$

$$\Delta Q_T = \Delta Q_x + \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{НОМ}}} \quad (2.9)$$

Если на подстанции с суммарной нагрузкой S работает параллельно n одинаковых трансформаторов, то их эквивалентные сопротивления в n раз меньше, а проводимости в n раз больше. Тогда,

$$\Delta P_T = n \cdot \Delta P_x + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_k \cdot \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \quad (2.10)$$

$$\Delta Q_T = n \cdot \Delta Q_x + \frac{1}{n} \cdot \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{НОМ}}} \quad (2.11)$$

Для n параллельно работающих одинаковых трехобмоточных трансформаторов (автотрансформаторов) потери мощности рассчитываются по формулам:

$$\Delta P_T = n \cdot \Delta P_x + \frac{1}{n} \cdot \left[\Delta P_{\text{КВ}} \cdot \left(\frac{S_B}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 + \Delta P_{\text{КС}} \cdot \left(\frac{S_C}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 + \Delta P_{\text{КН}} \cdot \left(\frac{S_H}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \right] \quad (2.12)$$

$$\Delta Q_T = n \cdot \Delta Q_x + \frac{1}{100 \cdot n \cdot S_{\text{НОМ}}} \cdot (U_{\text{КВ}} \cdot S_B^2 + U_{\text{КС}} \cdot S_C^2 + U_{\text{КН}} \cdot S_H^2) \quad (2.13)$$

где S_B , S_C , S_H – соответственно мощности, проходящие через обмотки высшего, среднего и низшего напряжений трансформатора.

Величина потерь электроэнергии зависит от характера изменения нагрузки в рассматриваемый период времени. Например, в ЛЭП, работающей с неизменной нагрузкой, потери электроэнергии за время t рассчитываются следующим образом:

$$\Delta W = \Delta P \cdot t \quad (2.14)$$

Наиболее точным из детерминированных методов является метод расчета потерь электроэнергии *по графику* нагрузок для каждого потребителя.

Графики нагрузок не всегда известны. В этом случае потери электроэнергии можно вычислить другим детерминированным методом – через τ_m . Метод основан на двух допущениях:

- максимальные потери в электрической сети наблюдаются в период максимума нагрузки в энергосистемы (утренний максимум с 9 до 11 часов; вечерний – с 17 до 21 часа);

- графики активной и реактивной мощности подобны, т.е. график реактивной мощности пересчитан из графика активной мощности.

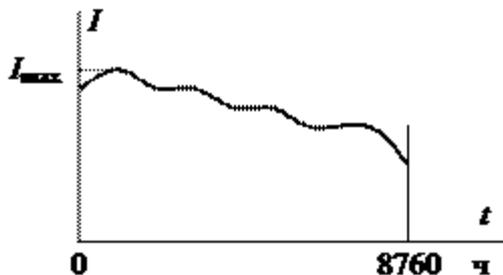


Рисунок 2.1 – График нагрузки

Время максимальных потерь τ_m – это время, в течении которого при работе потребителя с максимальной нагрузкой из сети потребляется такое же количество электроэнергии, что и при работе по реальному графику нагрузки. Исходя из определения, запишем:

$$\Delta W = \frac{R}{U^2} \cdot \sum_{i=1}^n (P_i^2 + Q_i^2) \cdot \Delta t_i = \frac{R}{U^2} \cdot (P_{max}^2 \cdot \tau_a + Q_{max}^2 \cdot \tau_p) \quad (2.15)$$

где $\tau_a; \tau_p$ - соответственно время максимальных потерь для активной и реактивной нагрузок.

На практике эти значения усредняют и заменяют общим τ_m . Тогда,

$$\Delta W = \frac{R}{U^2} \cdot S_{max}^2 \cdot \tau_m \quad (2.16)$$

Для типовых графиков нагрузки величина τ_m определяется по известной величине T_M :

$$\tau_m = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot 8760 \quad (2.17)$$

В соответствии с этим методом потери электроэнергии в элементах сети рассчитываются по формулам:

- в линии электропередач

$$\Delta W = P_{max} \cdot \tau_m \quad (2.18)$$

- в двухобмоточных трансформаторах

$$\Delta W_{\tau} = n \cdot \Delta P_x \cdot 8760 + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_K \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot \tau_M \quad (2.19)$$

- в трехобмоточных трансформаторах (автотрансформаторах)

$$\Delta W_{\tau} = n \cdot \Delta P_x \cdot 8760 + \frac{1}{n} \cdot \left[\Delta P_{\text{КВ}} \cdot \left(\frac{S_B}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot \tau_{\text{МВ}} + \Delta P_{\text{КС}} \cdot \left(\frac{S_C}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot \tau_{\text{МС}} + \Delta P_{\text{КН}} \cdot \left(\frac{S_H}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2 \cdot \tau_{\text{МН}} \right]$$

Величина $\tau_{\text{МВ}}$ рассчитывается по формуле (2.17) по величине $T_{\text{МВ}}$, значение которой определяется как средневзвешенное:

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{max } i} \cdot T_{\text{M } i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{max } i}} \quad (2.21)$$

Аналогично определяется величина τ_m для ЛЭП, питающей несколько потребителей.

Методика расчета

Общую величину потерь (ΔP_T) активной мощности (кВт) в трансформаторе определяют по формуле

$$\Delta P_T = \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_{\text{об}} K_3^2,$$

где $\Delta P_{\text{ст}}$ — потери в стали, кВт; при $V_{\text{НОМ}}$ от нагрузки не зависят, а зависят только от мощности трансформатора;

$\Delta P_{\text{об}}$ — потери в обмотках, кВт; при номинальной нагрузке трансформатора зависят от нагрузки

$$\Delta P_{\text{об}} \approx \Delta P_{\text{КЗ}} \text{ (потери КЗ, кВт); } \Delta P_{\text{ст}} \approx \Delta P_{\text{ХХ}};$$

где K_3 — коэффициент загрузки трансформатора, отн. ед. Это отношение фактической нагрузки трансформатора к его номинальной мощности:

$$K_3 = \frac{S_{\phi}}{S_T}.$$

Общую величину потерь (ΔQ_T) реактивной мощности (кВАр) в трансформаторе определяют по формуле

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{\text{ст}} + \Delta Q_{\text{рас}} K_3^2,$$

где $\Delta Q_{\text{ст}}$ — потери реактивной мощности на намагничивание, кВАр.

Намагничивающая мощность не зависит от нагрузки,

$$\Delta Q_{\text{ст}} \approx i_{\text{хх}} S_{\text{нт}} \times 10^{-2};$$

где $\Delta Q_{\text{рас}}$ — потери реактивной мощности рассеяния в трансформаторе при номинальной нагрузке,

$$\Delta Q_{\text{рас}} \approx u_{\text{кз}} S_{\text{нт}} \times 10^{-2};$$

где $i_{\text{хх}}$ — ток холостого хода трансформатора, %;

$u_{\text{кз}}$ — напряжение короткого замыкания, %;

$S_{\text{нт}}$ — номинальная мощность трансформатора, кВА.

Значения $\Delta P_{\text{хх}}, \Delta P_{\text{об}}, i_{\text{хх}}, u_{\text{кз}}$ берут по данным каталогов для конкретного трансформатора.

На основании потерь мощности можно определить потери электроэнергии. Для определения потерь электроэнергии применяют метод, основанный на понятиях **времени использования потерь (τ)** и **времени использования максимальной нагрузки ($T_{\text{м}}$)**. **Время максимальных потерь (τ)** — условное число часов, в течение которых максимальный ток, протекающий непрерывно, создает потери энергии, равные действительным потерям энергии за год.

Время использования максимума нагрузки ($T_{\text{м}}$) — условное число часов, в течение которых работа с максимальной нагрузкой передает за год столько энергии, сколько при работе по действительному графику.

$\tau = F \cos \varphi T_{\text{м}}$ определяется по графику (рис. 2.2).

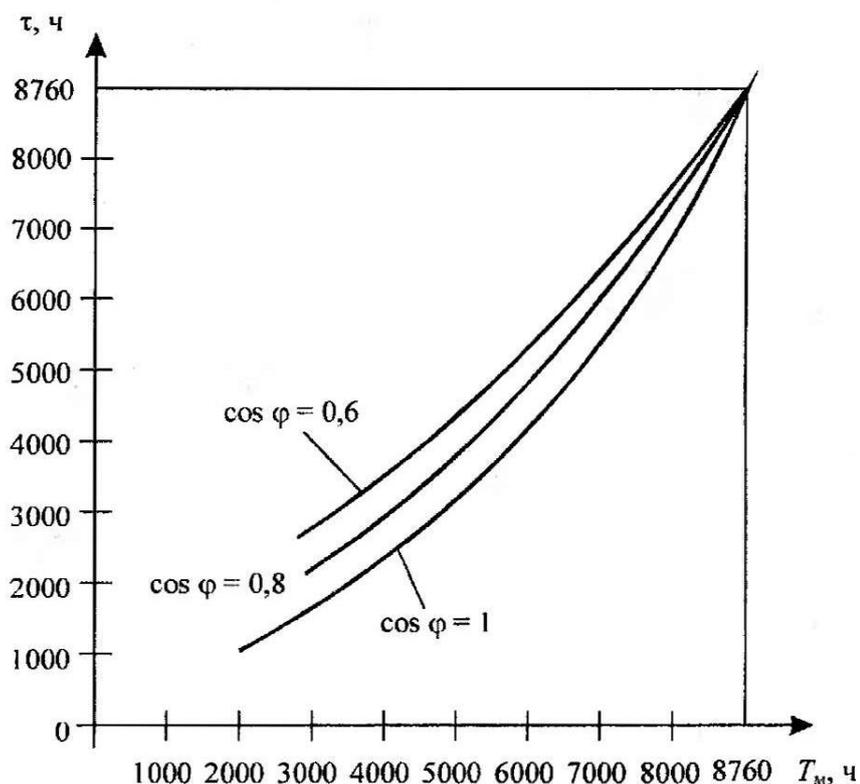


Рисунок 2.2 - График зависимости $\tau = F \cos \varphi T_{\text{м}}$

Общая потеря активной энергии (кВт • ч) в трансформаторе определяется по формуле

$$\Delta W_{\text{ат}} = \Delta W_{\text{ст}} + \Delta W_{\text{об}} = \Delta P_{\text{ст}} t + \Delta P_{\text{об}} K_3^2 \tau$$

Общая потеря реактивной энергии (кварч) в трансформаторе определяется по формуле

$$\Delta W_{\text{р.т}} = S_{\text{нт}} (i_{\text{хх}} t + u_{\text{кз}} K_3^2 \tau) \times 10^{-2}.$$

Задание для индивидуального решения

Найти годовые потери мощности и электроэнергии в трансформаторе определенного типа (технические характеристики трансформатора выбираются по его типу из таблицы 2.2), если известны длительности использования наибольшей нагрузки T_m , и время работы трансформатора t . Исходные данные в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Исходные данные к индивидуальному заданию

Вариант	Трансформатор (место установки)	K_3	$\cos \varphi$	$T_m, ч$	$t, ч$
1	ТДН-40000/110	0,89	0,9	3000	4000
2	ТДН-63000/110	0,75	0,85	8000	4500
3	ТДН-80000/110	0,63	0,8	3500	5000
4	ТДЦ-80000/110	0,89	0,9	7500	5500
5	ТДЦ-125000/110	0,88	0,85	4000	6000
6	ТДЦ-200000/110	0,79	0,8	7000	6500
7	ТДЦ-250000/110	0,85	0,9	4500	7000
8	ТДЦ-40000/110	0,80	0,85	6500	7500
9	ТДЦ-80000/220	0,69	0,8	5000	8000
10	ТДЦ-125000/220	0,85	0,9	6000	7500
11	ТДЦ-200000/220	0,82	0,85	5500	7000
12	ТДЦ-250000/220	0,87	0,8	5500	6500
13	ТДЦ-400000/220	0,85	0,9	6000	6000
14	ТНЦ-630000/220	0,83	0,85	5000	5500
15	ТНЦ-1000000/220	0,77	0,8	6500	5000
16	ТДЦ-125000/330	0,85	0,9	4500	4500
17	ТДЦ-200000/330	0,75	0,85	7000	4000
18	ТДЦ-250000/330	0,78	0,8	4000	4500
19	ТДЦ-400000/330	0,89	0,9	7500	5000
20	ТНЦ-630000/330	0,68	0,85	3500	5500
21	ТНЦ-1000000/3 30	0,79	0,8	8000	6000
22	ТНЦ-1250000/330	0,85	0,9	3000	6500
23	ТДЦ-250000/500	0,80	0,85	8000	7000

24	ТДЦ-400000/500	0,75	0,8	3500	7500
25	ТЦ-630000/500	0,85	0,9	7500	8000

Таблица 2.2 – Технические характеристики трехфазных двухобмоточных трансформаторов классов напряжения 110, 220, 330, 500 кВ

Вариант	Тип	ВН, кВ	НН, кВ	$\Delta P_{к.}$, кВт	$\Delta P_{хх}$, кВт	$u_{кз}$, %	$i_{хх}$, %
1	ТДН-40000/110	115	38,5	170	34	10,5	0,55
2	ТДН-63000/110	115	38,5	245	50	10,5	0,5
3	ТДН-80000/110	115	38,5	310	58	10,5	0,45
4	ТДЦ-80000/110	121	10,5	310	85	11	0,6
5	ТДЦ-125000/110	121	10,5	400	120	10,5	0,55
6	ТДЦ-200000/110	121	18	550	170	10,5	0,5
7	ТДЦ-250000/110	121	15,75	640	200	10,5	0,5
8	ТДЦ-40000/110	121	20	900	320	10,5	0,45
9	ТДЦ-80000/220	242	6,3	315	79	11	0,45
10	ТДЦ-125000/220	242	10,5	380	120	11	0,55
11	ТДЦ-200000/220	242	18	660	130	11	0,4
12	ТДЦ-250000/220	242	13,8	600	207	11	0,5
13	ТДЦ-400000/220	242	20	870	280	И	0,45
14	ТНЦ-630000/220	242	20	1200	400	12,5	0,35
15	ТНЦ-1000000/220	242	24	2200	480	11,5	0,4
16	ТДЦ-125000/330	347	13,8	380	125	11	0,55
17	ТДЦ-200000/330	347	18	520	180	11	0,5
18	ТДЦ-250000/330	347	13,8	605	214	11	0,5
19	ТДЦ-400000/330	347	20	790	300	11,5	0,45
20	ТНЦ-630000/330	347	24	1300	345	11,5	0,35
21	ТНЦ-1000000/3 30	347	24	2200	480	11,5	0,4
22	ТНЦ-1250000/330	347	24	2200	715	14,5	0,55
23	ТДЦ-250000/500	525	20	590	205	13	0,45
24	ТДЦ-400000/500	525	20	790	315	13	0,45
25	ТЦ-630000/500	525	24	1210	420	14	0,4

Критерии оценивания практической работы № 2

Практическая работа составлена в 25 вариантах и ее выполнение обучающимися рассчитано на 2 учебных часа. Номер варианта соответствует порядковому номеру в журнале теоретического обучения.

Таблица 2.3- Критерии оценивания практической работы

Оцениваемый параметр	Максимальный балл
Записаны наименование, номер, тема и цель урока	1
Записано условие задания с указанием единиц измерения физических величин	2
Указана цель каждого этапа решения задания	8
- из таблицы 2.2 выбраны каталожные характеристики трансформатора	2
- определены потери активной мощности в трансформаторе (ΔP_T)	2
- определены потери реактивной мощности в трансформаторе ($\Delta Q_{ст}$; $\Delta Q_{рас}$; ΔQ_T)	6
- определены полные потери мощности в трансформатора (ΔS_T)	2
- по графику (рис.2.2) определено время максимальных потерь (τ)	2
- определены потери активной энергии в трансформаторе ($\Delta W_{ат}$)	2
- определены потери реактивной энергии в трансформаторе ($\Delta W_{рт}$)	2
- определены полные потери энергии в трансформатора (ΔW_T)	2
При выполнении расчета указаны единицы измерения физических величин	2
Сделан вывод по работе	1
ИТОГО:	34

Оценка результатов выполнения задания производится в соответствии с универсальной шкалой:

Процент результативности (правильных ответов)	Кол-во баллов	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
		балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	31 - 34	5	отлично
80 ÷ 89,9	28 – 30,9	4	хорошо
70 ÷ 79,9	24 – 27,9	3	удовлетворительно
менее 70	менее 24	2	не удовлетворительно

3 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ОТЧЕТНЫХ РАБОТ

Форма зачета по практическим работам – собеседование.

Практическая работа считается выполненной и принимается к зачету по следующим критериям:

Оценка «отлично» выставляется, если студент обстоятельно, с достаточной полнотой излагает программный материал, дает правильные формулировки, точные определения ключевых понятий, обнаруживает полное понимание материала и может обосновать свой ответ, привести примеры, демонстрирует самостоятельность мышления, правильно отвечает на дополнительные вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если студент дает ответ, удовлетворяющий тем же требованиям, что и для оценки «отлично», но допускает единичные ошибки, которые сам же исправляет после замечаний преподавателя.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если студент демонстрирует знание и понимание основных положений программного материала, но при этом допускает неточности в формулировке правил или определений, излагает материал недостаточно связно и последовательно.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если студент обнаруживает незнание большей части программного материала, допускает ошибки в формулировке правил и определений, искажающие их смысл, беспорядочно и неуверенно излагает материал, сопровождая изложение частыми запинками, перерывами.

4 РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

Основные источники:

1. Шлейников В.Б. Курсовое проектирование по электроснабжению [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Шлейников В.Б.— Электрон. текстовые данные. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2017.— 105 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/78781.html>.— ЭБС «IPRbooks»
2. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: методическое пособие для курсового проектирования М. Форум-Инфра-М 2019. – 216с.

Дополнительные источники:

1. ГОСТ 2.710-81. Обозначения буквенно – цифровые в электрических схемах
2. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы 6 и 7 изданий с изм. и доп. Утверждены Приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204 Дата актуализации текста: 01.01.2021. - 645с.
3. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: учеб. пособие / Е.А. Конюхова. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. - 320с

Интернет-ресурсы

1. Электронный ресурс «Библиотека электроэнергетика» Форма доступа: <http://elektroinf.narod.ru/>
2. Электронный ресурс «Электричество и схемы» Форма доступа: <http://www.elektroshema.ru/>
3. Электронный ресурс «Школа для электрика. Статьи, советы, полезная информация по устройству, наладке, эксплуатации и ремонту электрооборудования» Форма доступа: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/>
4. Электронный ресурс «Глоссарий». Форма доступа: www.glossary.ru
5. Электронный ресурс «Публичная интернет-библиотека. Специализация: отечественная периодика». Форма доступа: www.public.ru
6. Электронный ресурс «Консультант Плюс» - www.consultant.ru
7. Электронный ресурс «Энергетика. Электротехника. Связь. Первое отраслевое электронное СМИ ЭЛ № ФС77-70160» Форма доступа <https://www.ruscable.ru/info/pue/>
8. Электронный ресурс «Электроснабжение: электронный учебно-методический комплекс» Форма доступа <http://www.kgau.ru/distance/2013/et2/007/vveden.htm#>
9. Электронный ресурс «Электрика на производстве и в доме». Форма доступа <http://faza.ru>
10. Электронный ресурс «Советы электрика, энергетика». Форма доступа <http://ceshka.ru>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Правила выполнения практических работ

1) Проведение практической работы.

Записать наименование, тему и цель работы. Уяснив условие задачи, студенты записывают его в отчет и выполняют решение задач.

Изучая теоретическое обоснование, студент должен иметь в виду, что основной целью изучения теории является умение применить ее на практике для решения практических задач.

3) Составление отчета и представление его преподавателю.

После выполнения работы студент должен представить отчет о проделанной работе с полученными результатами и выводами и устно ее защитить. Содержание отчета должно включать в себя: цель работы, порядок выполнения, электрические схемы (если они есть), основные расчетные соотношения, выводы по работе. Все таблицы, графики и диаграммы должны иметь заголовки, поясняющие зависимость, которую они характеризуют. Вычерчивание схем, таблиц, графиков необходимо выполнять чертежным инструментом (линейка, циркуль, лекало и т.д.) карандашом либо чернилами. Элементы схем должны быть вычерчены тщательно с использованием обозначений по ГОСТ.

К зачету допускаются студенты, выполнившие и защитившие каждую практическую работу. При отсутствии студента по неуважительной причине студент выполняет работу самостоятельно, в свое личное время и защищает на консультации по указанию преподавателя.