

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Системы электроснабжения» является приобретение высокого уровня профессиональной подготовки – знаний о построении, режимах работы систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства и транспортных систем; о технико-экономических и экологических требованиях к ним, существующих научно-технических средствах их реализации; проведения и разработки необходимой технической документации; овладения методами определения потребности электрической энергии объектов и способами оценки надежности электроснабжения, плановых и аварийных недоотпусков электроэнергии.

Данная дисциплина позволяет студентам установить взаимосвязь между специальными дисциплинами, их приоритетами и значением в будущей профессиональной деятельности.

2. Место дисциплины в структуре ООП

2.1. Для изучения данной учебной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами: «Теоретические основы электротехники», «Электроснабжение», «Передача и распределение электроэнергии», «Электрические станции и подстанции», «Электроснабжение промышленных установок».

2.2. Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной: «Режимы работы систем электроснабжения», «Эксплуатация электрооборудования систем электроснабжения».

3. Содержание дисциплины

Раздел 1. Общие вопросы систем электроснабжения

Структура СЭС, основные требования к ним. Отличительные особенности СЭС городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства и транспортных систем.

При подготовке этого раздела изучить [1, п. 2.2; 2, гл. 2, 3, 4]

Раздел 2. Структура схем и основное электрооборудование систем внешнего электроснабжения

Система внешнего электроснабжения. Источники питания. Выбор напряжения и сечения проводников питающей сети, схемы электрических соединений и электрооборудование подстанций (ПС).

При подготовке этого раздела изучить [1, гл 4, 5, 8; 2, гл. 5, п. 6.1, 6.2, гл. 12]

Раздел 3. Структура схем и основное электрооборудование систем внутреннего электроснабжения

Схемы распределения электроэнергии. Выбор напряжений и сечения распределительной сети, схемы электрических соединений и основное электрооборудование цеховых трансформаторных подстанций.

При подготовке данного раздела изучить материал [4, гл. 7, 8; 2, п. 6.3, 6.4, гл. 12]

Раздел 4. Компенсация реактивной мощности

Источники и потребители реактивной мощности. Продольная и поперечная емкостная компенсации реактивной мощности. Выбор компенсирующих устройств в электросетях до 20 кВ. Мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электросетях.

При подготовке данного раздела изучить материал [1, гл. 13; 2, гл. 10]

4. Методические указания по выполнению контрольных работ

Контрольная работа 1

Используя результаты контрольной работы (КР), выполненной при изучении дисциплины «Электроснабжение», сделать, на основе технико-экономических расчетов (ТЭР) и сопоставления вариантов, проект внешнего электроснабжения машиностроительного завода (от точки присоединения к районной ПС (РПС) до приемной ПС завода включительно). Разме-

стить ГПП (ПГВ, ГРП) на промплощадке, определить схему коммутации на сторонах ВН и НН, их основное электрооборудование. На чертеже формата А-4 привести принципиальную однолинейную схему внешнего электроснабжения завода от питающих шин РПС до шин НН ГПП (ПГВ, ГРП).

Вариант задания определяется двумя последними цифрами шифра студента (табл. 3, 4).

КП1 заложена в основу задания на курсовой проект (КП), поэтому она возвращается автору-студенту и сдается им при защите КП.

Исходные данные

1. Генплан завода (рис. 1).
2. Расчетные электрические нагрузки (см. КР, дисциплина «Электроснабжение»).
3. Завод расположен в центральном районе РФ и работает в 2 смены по 8 часов каждая.
4. Источником питания служит РПС с напряжением 110/35/10 кВ с двумя трансформаторами типа ТДЦТН 80000/110.
5. Расстояние от завода до РПС (табл. 1).
6. Направление на РПС и район по гололеду (табл. 2).

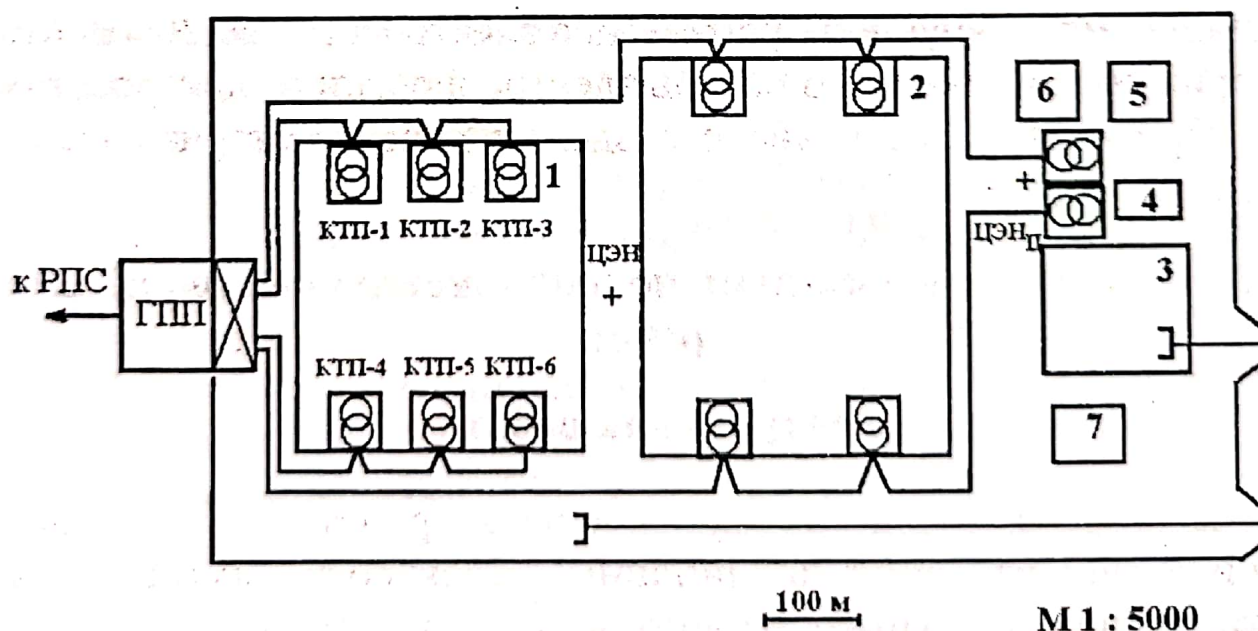


Рис. 1. Генеральный план машиностроительного завода с примером размещения КТП и КЛ

Таблица 1

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Расстояние до РПС-L, км	3	4	5	8	10	12	16	18	20	22
I'' на шинах ВН РПС, кА	20	25	30	35	20	25	30	35	20	25
I'' на шинах СН РПС, кА	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20
I'' на шинах НН РПС, кА	8	12	15	18	8	12	15	18	8	12

Таблица 2

Предпоследняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Направление на РПС	С	В	Ю	З	С	Ю	З	С	Ю	В
Район по гололеду	I	IV	I	IV	I	IV	I	IV	I	IV

Порядок выполнения

1. Схема внешнего электроснабжения.

Так как питание завода осуществляется непосредственно от РПС (по заданию), то принимаем радиальную схему питающей электросети.

2. Определяем предварительное значение рационального напряжения $U_{\text{рац}}$ по формуле Г.А. Илларионова:

$$U_{\text{рац}} = 1000 / \sqrt{500/L_n + 2500/P_{\text{р.з}}}, \text{ кВ}, \quad (1)$$

где $L_n = K_{\text{уд}} \cdot L$ – длина линии от РПС до ГПП, км;

L – расстояние от РПС до ГПП, км;

$P_{\text{р.з}}$ – расчетная активная мощность завода, МВт;

$K_{\text{уд}} = 1,16$ – коэффициент удлинения трассы.

Округляем нестандартное значение напряжения до ближайшего стандартного значения $U_{\text{рац.ст}}$. Намечаем для технико-экономического значения следующие три варианта напряжения:

1. U_1 – на ступень меньше $U_{\text{рац.ст.}}$

2. U_2 – равное $U_{\text{рац.ст.}}$

3. U_3 – на ступень больше $U_{\text{рац.ст.}}$

При варианте с $U_{\text{ном}} = 10$ кВ на заводе сооружается ГРП без трансформаторов.

3. Определяем расчетные реактивную $Q_{\text{р.з}}$ и полную $S_{\text{р.з}}$ мощности завода для каждого варианта напряжения:

$$Q_{\text{р.з}} = aP_{\text{р.з}} \text{ квар,} \quad (2)$$

где a – коэффициент, соответствующий базовому коэффициенту реактивной мощности, принимаемый согласно инструкции Главгосэнергонадзора равным 0,25; 0,28; 0,37 для сети 6–20 кВ, присоединенной к шинам ПС с ВН, соответственно 35, 110 – 150 и 220 – 330 кВ:

$$S_{\text{р.з}} = \sqrt{P_{\text{р.з}}^2 + Q_{\text{р.з}}^2}, \text{ кВ}\cdot\text{А.} \quad (3)$$

4. Определяем количество, мощность и тип трансформаторов ГПП для каждого из рассматриваемых вариантов по формуле:

$$S_{\text{т}} = \frac{S_{\text{р.з}}}{K_{\text{н.з}} \cdot N}, \quad (4)$$

где $S_{\text{т}}$ – нестандартное значение мощности трансформатора, кВА;

$K_{\text{н.з}}$ – нормативный коэффициент загрузки трансформатора в рабочем режиме; в соответствии с [2] принимают в зависимости от категории ЭП по ПУЭ:

I категория – $K_{\text{з.н}} = 0,65 - 0,7$;

II категория – $K_{\text{з.н}} = 0,7 - 0,8$;

III категория – $K_{\text{з.н}} = 0,9 - 0,95$,

где N – число трансформаторов на ГПП.

Так как машиностроительные заводы относятся к потребителям II категории, то они должны получать питание от двух независимых, взаимно резервируемых источников питания, питаемых по двум линиям.

Принимаем ближайшее большее значение номинальной мощности трансформатора $S_{\text{т.н}}$.

5. Определяем потери активной $\Delta P_{\text{ГПП}}$ и реактивной $\Delta Q_{\text{ГПП}}$ мощностей и годовой электроэнергии $\Delta \mathcal{E}_{\text{а.г.ГПП}}$ в трансформаторах рассматриваемых вариантов по формулам:

$$\Delta P_{\text{ГПП}} = N \left(P_{\text{xx}} + K_{\text{з.н}}^2 \Delta P_{\text{к.з}} \right), \text{ кВт}, \quad (5)$$

где ΔP_{xx} , $\Delta P_{\text{к.з}}$ – потери активной мощности, холостого хода и короткого замыкания трансформатора соответственно, кВт;

$$\Delta Q_{\text{ГПП}} = \frac{N \cdot S_{\text{т.н}}}{100} (I_{\text{xx}} + K_{\text{з.н}}^2 U_{\text{к.з}}), \text{ квар}, \quad (6)$$

где I_{xx} , $U_{\text{к.з}}$ – ток холостого хода и напряжение короткого замыкания трансформатора соответственно, %;

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{а.г}} = N \left(\Delta P_{\text{xx}} \cdot T_{\text{г}} + K_{\text{з.н}}^2 \Delta P_{\text{к.з}} \cdot \tau_{\text{н}} \right), \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{год}}, \quad (7)$$

где $T_{\text{г}} = 8760$ – годовое число часов (трансформаторы ГПП подключены к сети в течение года); $\tau_{\text{н}}$ – годовое число часов максимальных потерь, час.

$$\tau_{\text{н}} = (0,124 + T_{\text{м}} / 10\,000)^2 \cdot T_{\text{г}}, \quad (8)$$

где $T_{\text{м}}$ – годовое число часов максимальной нагрузки, определяется по справочной литературе в зависимости от количества смен на заводе.

6. Определяем схему ГПП.

Завод получает питание по радиальной схеме, поэтому сооружаемая ГПП является тупиковой с типовой схемой 3Н [4]. Использование типовой схемы 4Н (с ремонтной перемычкой) требует специального обоснования [2].

На первичном напряжении ГПП рекомендуется использовать элегазовые выключатели, а на вторичном – вакуумные выключатели.

7. Определяем марку и сечение питающих линий (воздушных, кабельных или токопроводов) [1]. Воздушные линии выполняют алюминиевыми проводами. Одноцепные опоры необходимо использовать при питании потребителей I категории или сооружении в IV районе по гололеду (ПУЭ), в других случаях ВЛ могут сооружаться на двухцепных опорах.

8. Определяем потери активной $\Delta P_{\text{л}}$, реактивной $\Delta Q_{\text{л}}$ мощности и годовой активной электроэнергии $\Delta \mathcal{E}_{\text{а.г.л}}$ в линиях для трех вариантов по формулам:

$$\Delta P_n = 3nI_p^2 r_0 L_n, \text{ кВт}, \quad (9)$$

где I_p^2 – расчетный ток в линии, А; r_0 – удельное активное сопротивление линии, Ом/км; n – количество линий.

$$\Delta Q_n = 3nI_p^2 x_0 L_n, \text{ квар}, \quad (10)$$

где x_0 – удельное реактивное сопротивление линии, Ом/км;

$$\Delta \mathcal{E}_{a,r,l} = \Delta P_n \cdot \tau_m. \quad (11)$$

9. Проведем технико-экономическое сравнение рассматриваемых вариантов напряжения, используя формулу приведенных дисконтированных затрат:

$$Z_t = \sum_{i=1}^T (E_n K_n + \Delta I_t) (1 + E_{n,n})^{i-1}. \quad (12)$$

Принимаем, что СЭС завода сооружается в течение одного года, тогда (12) примет следующий вид:

$$Z = E_n K + I, \text{ тыс.руб./год}, \quad (13)$$

где $E_n = 0,12$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений для объектов электроэнергетики; I – годовые эксплуатационные издержки, тыс. руб./год.

$$I = I_{p.o} + I_{п.э}, \quad (14)$$

где $I_{p.o}$ – годовые издержки на ремонт и обслуживание, тыс. руб./год; $I_{п.э}$ – годовые издержки на потери электроэнергии, тыс. руб./год.

$$I_{p.o} = K_{p.o} K, \quad (15)$$

где $K_{p.o}$ – коэффициент годовых отчислений на ремонт и обслуживание (для ВЛ 35–110 кВ $K_{p.o} = 0,4\%$, для ПС 35–110 кВ $K_{p.o} = 3\%$), о.е; K – капитальные затраты, тыс. руб.

При определении K необходимо учесть ячейки с головными выключателями ВЛ, питающие ВЛ, ОРУ и трансформаторы ГПП. Головные выключатели питающих линий необходимо выбрать по номинальным параметрам.

Стоимость электроэнергии по двухставочному тарифу (а и в) необходимо определить, используя Интернет-ресурсы.

Исходные данные и результаты ТЭР следует привести в табличной форме.

Выбираем вариант с минимальными приведенными дисконтированными затратами.

Для выбранного варианта составить принципиальную однолинейную схему электрических соединений СЭС (для двухтрансформаторной ГПП).

Стоимость сооружения воздушных линий и ПС приведена в табл. 3, 4.

Таблица 3

Стоимость сооружения воздушных линий 35–220 кВ

Тип опор и район по гололеду	Стоимость ВЛ, тыс.руб./км в ценах 1080-х гг. по маркам												
	АС-70/11		АС-95/16		АС-120/19		АС-150/24		АС-185/29		АС-240/32		
	35	110	35	110	35	110	35	110	35	110	35	110	220
ПБ, У; 2-цеп; I	10,6	15,8	15,3	16,9	14,1	17,0	14,8	20,0	-	22,0	-	24,2	31,5
ПБ, У; 1-цеп, IV	8,3	16,5	13,7	15,9	13,6	14,4	13,4	14,1	-	15,3	-	16,8	18,5

Примечание. Протяженность ВЛ рекомендуется принимать с учетом удлинения трассы в $K_{уд} = 1,16$ раз по сравнению с воздушной прямой; поправочный коэффициент к стоимости сооружения ВЛ на ж.б. опорах в условиях городской и промышленной застройки $K_{уд} = 1,7$ [4, с. 164, 326].

Таблица 4

Расчетная стоимость ПС с выключателями на стороне ВЛ и схемой: 2 блока линия – трансформатор, тыс. руб. в ценах 1980-х годов

Напряжение, кВ	Количество и мощность трансформаторов, шт. × МВ·А							
	2 × 6,3	2 × 10	2 × 16	2 × 25	2 × 32	2 × 40	2 × 63	2 × 80
35 / 10	163	180	230	300	390	507	660	-
110 / 10	225	240	270	350	463	591	768	998
220 / 10	-	-	-	-	633	709	922	1197

Контрольная работа 2

Выполнить проект фрагмента внутреннего электроснабжения машиностроительного завода (от шин ННГПП до КТП включительно), используя результаты контрольных работ по следующим дисциплинам: «Электроснабжение», «Системы электроснабжения» (КР1). Все необходимые исходные данные приведены в указанных выше контрольных работах.

В КР2 необходимо:

1. Обосновать напряжение внутреннего электроснабжения.
2. Выбрать число и мощность трансформаторов цеховых КТП и конденсаторных батарей на напряжение 380 В.
3. Определить потери активной и реактивной мощностей в цеховых трансформаторах.
4. Показать на генплане завода расположение цеховых трансформаторов и питающих их от ГПП (ГРП) кабельных линий (формат А-3).

КР2 заложена в основу задания на курсовой проект (КП) по дисциплине «Системы электроснабжения». Поэтому после собеседования она возвращается автору-студенту и может служить черновым расчетом для проекта. Данная контрольная работа сдается преподавателю при защите КП.

Порядок выполнения КР2

1. Напряжение системы внутреннего электроснабжения завода

В проекте необходимо решить вопрос о наиболее целесообразном напряжении распределительной электросети завода, которая может выполняться на напряжениях 6–20 кВ.

Напряжение 20 кВ не получило широкого распространения из-за недостаточной номенклатуры электрооборудования и кабелей на это напряжение.

Наибольшее распространение получили системы внутризаводского электроснабжения на напряжении 6–10 кВ. Напряжение 10 кВ является более экономичным по сравнению с напря-

жением 6 кВ. Вариант с напряжением 6 кВ необходимо рассматривать в тех случаях, когда на предприятии преобладают приемники электроэнергии с таким напряжением или питание его может осуществляться от энергосистемы или заводской ТЭЦ на напряжении 6 кВ.

2. Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых КТП и конденсаторных батарей на напряжение 380 В

При выборе числа, мощности и типа силовых трансформаторов для питания электроприемников цеха будем руководствоваться следующими положениями:

1. Нагрузка цехов, имеющих расчетную полную мощность низковольтных электроприемников менее 1000 кВ·А, объединяется или присоединяется к более мощным цехам.

2. Считаем, что вся низковольтная реактивная нагрузка скомпенсирована в цеховых сетях, тогда $\cos \varphi = 1$ и $S_p = P_p$.

3. Мощность трансформаторов должна выбираться с учетом допустимой нагрузки в нормальном и послеаварийном режимах работы.

4. Число трансформаторов определяется, исходя из надежности обеспечения питания с учетом категории потребителей.

5. Установка в цеховых КТП более трех трансформаторов экономически нецелесообразна. Двух- и трехтрансформаторные КТП сооружаются при питании нагрузок I и II категории и при сосредоточении значительных нагрузок в месте установки КТП. Однотрансформаторные КТП при питании от них электроприемников II-ой категории должны иметь резервирование на вторичном напряжении от близлежащих КТП. Однотрансформаторные КТП без резервирования сооружаются для питания нагрузки III-ей категории.

6. При наличии свободной площади в цехе трансформаторы мощностью до 1 600 кВ·А устанавливаются около цеховых колонн или равномерно по периметру цеха, а при отсутствии площади и при мощности 2 500 кВ·А и выше пристраиваются к зданию цеха.

7. Не допускается применение более 2–3 типоразмеров трансформаторов в распределительных сетях завода.

Критерием при выборе мощности трансформаторов является удельная плотность нагрузки цеха:

$$\sigma_{\text{ц}} = \frac{S_{p,i}}{F_i}, \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2, \quad (16)$$

где $S_{p,i}$ – расчетная полная мощность низковольтных электроприемников i -го цеха, кВ·А; F_i – площадь i -го цеха, определяемая по генплану, м².

Ориентировочно номинальная мощность трансформаторов выбирается по плотности нагрузки (табл. 5). [2]

Таблица 5

Зависимость мощности трансформатора от плотности нагрузки

σ , кВ·А /м ²	$S_{\text{т.н}}$, кВ·А
< 0,2	1000, 1 600
0,2 – 0,5	1 600
> 0,5	2 500, 1 600

Предварительно выбирается минимально возможное число трансформаторов i -го цеха $N_{o,i}$ по формулам:

$$N_{o,i} = \frac{P_{\text{см},i}}{K_{з,н,i} \cdot S_{\text{т.н},i}}, \text{ шт}; \quad (17)$$

$$P_{\text{см},i} = \frac{P_{p,i}}{K_{м,i}}, \text{ кВт}, \quad (18)$$

где $S_{\text{т.н},i}$ – номинальная мощность трансформатора в i -ом цехе, кВ·А; $P_{\text{см},i}$ – средняя активная мощность за наиболее загруженную смену низковольтных электроприемников i -го цеха, кВт; $K_{з,н,i}$ – нормативный коэффициент загрузки масляных трансформаторов i -го цеха, выбираемый согласно [2] по категории нагрузок:

для одно- и двух трансформаторных КТП:

- при I категории $= 0,65 - 0,7$;

- при II категории $= 0,7 - 0,8$;

- при III категории $= 0,9 - 0,95$;

для трехтрансформаторной КТП $- 0,666 - 0,93$.

$K_{м,i}$ – коэффициент максимума примем равным 1,1.

Полученное значение $N_{0,i}$ округляется до ближайшего большего целого числа N_i . При выборе мощности трансформатора необходимо учитывать возможность его перегрузки в послеаварийном режиме до 40 % продолжительностью не более 6 ч в течение 5 суток. При этом коэффициент заполнения суточного графика нагрузки трансформатора в условиях его нормальной работы до перегрузки должен быть не более 0,8 (ПУЭ).

Одновременно с выбором трансформаторов производим выбор компенсирующих устройств в цеховой сети.

Наибольшая реактивная мощность $Q_{в-н}$, которая может быть передана из распределительной сети 6–10 кВ в сеть 380 В i -го цеха без превышения предусмотренного значения коэффициента загрузки, определяется по формуле:

$$Q_{в-н,i} = \sqrt{(N_i K_{зн,i} S_{тн,i})^2 - P_{р,i}^2}, \quad (19)$$

где $P_{р,i}$ – расчетная активная мощность низковольтных электроприемников i -го цеха, кВт.

Если расчетная реактивная низковольтная нагрузка i -го цеха равна $Q_{р,i}$, а максимальный переток реактивной мощности с шин РУ 6–10 кВ ГПП (ГРП) в цеховую сеть равен $Q_{в-н,i}$, то от источников низшего напряжения – конденсаторных установок (КУ), необходимо обеспечить получение следующего количества мощности:

$$Q_{ку,i} = Q_{р,i} - Q_{в-н,i}, \text{ квар.} \quad (20)$$

Значение мощности $Q_{ку,i}$ уточняется до величины $Q_{бк}$ при выборе стандартных конденсаторных установок. Рекомендуется принимать число КУ кратным числу трансформаторов (например, 1–2 на трансформатор).

Затем проверяется фактический коэффициент загрузки трансформаторов $K_{з,i}$, i -го цеха после компенсации по условию:

$$K_{з,i} = \frac{\sqrt{P_{р,i}^2 + (Q_{р,i} - Q_{бк,i})^2}}{N_i S_{т,н,i}} \leq K_{з,н,i}. \quad (21)$$

Если это условие не соблюдается, то необходимо увеличить трансформаторную мощность.

Уточняем величину реактивной мощности, передаваемую из сети 6–10 кВ в сеть 380 В, по формуле:

$$Q'_{в-н,i} = Q_{р,i} - Q_{бк,i}, \text{ квар.} \quad (22)$$

Исходные данные и результаты расчета необходимо привести в табличной форме.

3. Расчет потерь активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах

Определим потери активной $\Delta P_{ктп}$ и реактивной $\Delta Q_{ктп}$ мощностей в цеховых трансформаторах завода:

$$\Delta P_{ктп} = N(\Delta P_{хх} + K_{з}^2 \Delta P_{к,з}); \quad (23)$$

$$\Delta Q_{ктп} = N \frac{S_{ктп}}{100} (I_{хх} + K_{з}^2 U_{к,з}), \quad (24)$$

где $\Delta P_{х.х}$ и $\Delta P_{к.з}$ – потери активной мощности холостого хода и короткого замыкания трансформатора, определяются по паспорту, кВт; $I_{х.х}$, $U_{к.з}$ – ток холостого хода и напряжение короткого замыкания трансформатора, определяются по паспорту, %.

Исходные данные и результаты расчета привести в табличной форме.

4. Генплан завода с расположением КТП и КЛ

Пример размещения цеховых КТП и кабельных линий на генплане завода приведен на рис. 1.

Расположение КТП делается с учетом минимально допустимых расстояний до пожаро- и взрывоопасных зон (цеха 4 и 5), (см. ПУЭ табл. 7.3.13, п. 7.3.84 и п. 74.28).

К одной магистральной линии могут подключаться 2–3 трансформатора мощностью 2 500–1 000 кВА или 4–5 трансформаторов меньшей мощности.

Размещение кабельных линий на генплане осуществляется таким образом, чтобы не было их обратного хода к источнику питания (ГПП, ПГВ, ГРП).

Прокладку кабельных линий по территории завода рекомендуется осуществлять в земляных траншеях, так она является наиболее дешевой.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Список рекомендуемой литературы

Основной

1. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. – М.: Изд-во Интернет Инжиниринг, 2005.

2. НТП ЭПП-94. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий. Нормы технического проектирования. – М.: Изд-во ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1994.

3. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006.

4. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2009.

Дополнительный

5. Зотов В.И. Системы электроснабжения. – М.: Изд-во МГОУ, 2001.

6. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Изд-во Энергосервис, 2003.