

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Филиал ТИУ в г. Тобольске

Кафедра электроэнергетики

Электроснабжение. Часть 3

Методические указания к курсовой работе (проекту) по дисциплине
«Электроснабжение» для обучающихся по направлению подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Составитель:
Е.Н. Леонов,
кандидат технических наук

Тобольск
2019

Электроснабжение. Часть 3. Методические указания к курсовой работе (проекту) по дисциплине «Электроснабжение» для обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника / сост. Е.Н. Лонов; Тюменский индустриальный университет. – Тюмень: Издательский центр БИК, ТИУ, 2019. – 42 с. – Текст : непосредственный.

Электроснабжение. Часть 3. Методические указания к курсовой работе (проекту) по дисциплине «Электроснабжение» для обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании кафедры электроэнергетики.

«30» августа 2019 года, протокол № 15.

Аннотация

Методические указания «Электроснабжение. Часть 3» предназначены для студентов, обучающихся по направлениям подготовки: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», 15.03.04 для выполнения курсовой работы (проекта) по дисциплине «Электроснабжение».

5 МЕТОДИКА РАСЧЁТОВ

5.1 РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Определение электрических нагрузок является первым этапом проектирования любой системы электроснабжения, т. к. их величина оказывает существенное влияние на выбор элементов и технико-экономические показатели проектируемой системы.

Перед расчётом нагрузок необходимо привести основные характеристики электроприёмников цеха в соответствии с табл. 1, с целью удобства дальнейшего их использования, а также определения номинальных токов электроприёмников, необходимых для выбора проводников и защитных аппаратов к ним.

Таблица №1

Характеристики электроприёмников цеха

Обозначение ЭП на плане цеха	Наименование ЭП	Номинальная мощность P_n , кВт	Коэффициент использования K_n	Коэффициент реактивной мощности		КПД η , %	Номинальный ток I_n , А
				$\cos\varphi$	$\tg\varphi$		
1	2	3	4	5	6	7	8

Колонки 1 – 3 табл. 1 заполняются на основании задания на курсовое проектирование [6].

Коэффициенты использования, реактивной мощности и полезной мощности (колонки 4, 5, 7) для характерных групп электроприёмников выбираются из справочных данных (табл. П1), а также [7 – 9]. Значение $\tg\varphi$ рассчитывается по известным тригонометрическим соотношениям по известным значениям $\cos\varphi$. При наличии в справочных материалах интервальных значений K_n следует для расчёта принимать наибольшее значение, а для значений $\cos\varphi$ наименьшее значение.

Значение КПД учитывается только для двигательной нагрузки, в остальных случаях оно принимается равным единице. При наличии в справочных материалах интервальных значений K_n следует для расчёта принимать наибольшее значение.

Номинальные токи электроприёмников (колонка 8) определяются по формулам:

- 1) для трёхфазных электродвигателей

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos\varphi}; \quad (1)$$

2) для остальных трёхфазных электроприёмников

$$I_{\text{н}} = \frac{p_{\text{н}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos\varphi}; \quad (2)$$

3) для однофазных электродвигателей, включенных на фазное напряжение

$$I_{\text{н}} = \frac{p_{\text{н}} \cdot 10^3}{U_{\text{ф}} \cdot \eta \cdot \cos\varphi}; \quad (3)$$

4) для однофазных электродвигателей, включенных на линейное напряжение

$$I_{\text{н}} = \frac{\sqrt{3} \cdot p_{\text{н}} \cdot 10^3}{2 \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta \cdot \cos\varphi}; \quad (4)$$

5) для остальных однофазных электроприёмников, включенных на фазное напряжение

$$I_{\text{н}} = \frac{p_{\text{н}} \cdot 10^3}{U_{\text{ф}} \cdot \cos\varphi}; \quad (5)$$

6) для остальных однофазных электроприёмников, включенных на линейное напряжение

$$I_{\text{н}} = \frac{\sqrt{3} \cdot p_{\text{н}} \cdot 10^3}{2 \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos\varphi}, \quad (6)$$

где $p_{\text{н}}$ – номинальная мощность электроприёмника, кВт;

$U_{\text{н}}$ – номинальное (линейное) напряжение электроприёмника, В;

$U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение, В;

η – КПД электроприёмника;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности электроприёмника.

В практике проектирования систем электроснабжения применяют различные методы определения электрических нагрузок, описанные, например, в [4, 7]. С 1993 г. основным и обязательным нормативным документом по определению электрических нагрузок промышленных предприятий является РТМ 36.18.32.4-92 [2], которые устанавливают порядок расчёта электрических нагрузок по методу коэффициента расчётной активной мощности.

Расчёт электрических нагрузок электроприёмников напряжением до 1 кВ выполняется по форме Ф636-92 (табл. 2) и производится для *каждого* узла питания (распределительного пункта, распределительного или магистрального шинопровода, цеховой трансформаторной подстанции), а также по цеху, корпусу в целом.

Расчёт электрических нагрузок (форма Ф636-92)

Исходные данные				Расчётные величины		Эффективное число ЭП* $n_3 = \frac{(\sum P_n)^2}{\sum n P_n^2}$	Коэффициент расчётной нагрузки K_p	Расчётная мощность			Расчётный ток, А $I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n}$				
по заданию технологов		по справочным данным		$K_n P_n$	$K_n P_n \operatorname{tg} \varphi$			$n P_n^2$	активная, кВт $P_p = K_p \sum (K_n P_n)$	реактивная, кВар* $Q_p = 1,1 \sum (K_n P_n \operatorname{tg} \varphi)$ при $n_3 \leq 10$; $Q_p = \sum (K_n P_n \operatorname{tg} \varphi)$ при $n_3 > 10$		полная, кВА $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$			
Наименование ЭП	Количество	Номинальная (установленная) мощность, кВт	коэффициент использования	коэффициент реактивной мощности $\operatorname{tg} \varphi$	K_n	$n P_n$	$n P_n^2$	$K_n P_n$	$K_n P_n \operatorname{tg} \varphi$	$n P_n^2$	K_p	P_p	Q_p	S_p	I_p
		ЭП, шт.	общая $P_n = n P_n$												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
...															
Итого															

* При расчёте электрических нагрузок для магистральных шинопроводов, на шинах цеховых трансформаторных подстанций, в целом по цеху, корпусу, предприятию допустается определять эффективное число электроприёмников n_3 по выражению

$$n_3 = \frac{2 \Sigma P_n}{P_{n. макс}}$$

тогда расчетная реактивная мощность принимается равной

$$Q_p = K_p \cdot K_n \cdot P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Для выбора трансформаторов цеховой подстанции требуется произвести расчёт для всех электроприёмников, для выбора РП и (или) шинопроводов электроприёмники будут разбиты на группы, соответствующие определённым участкам цеха. Разбиение электроприёмников на группы производится при выборе схемы электрической сети цеха (п. 5.5), после чего производится дополнение табл. 2 соответствующими строками.

В табл. 2 исходные данные для расчёта (графы 1 – 6) заполняются на основании полученного задания на проектирование (графы 1 – 3) и согласно справочным материалам (графы 5, 6). Все электроприёмники группируются по характерным категориям с одинаковыми коэффициентами использования K_n и реактивной мощности $\operatorname{tg}\varphi$ ($\cos\varphi$). В каждой строке указываются электроприёмники одинаковой мощности. При этом резервные электроприёмники в расчёте не учитываются, а номинальная мощность электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы не приводится к длительному режиму ($P_B = 100\%$).

При определении расчётной нагрузки цеха или другого узла питания следует учитывать наличие однофазных электроприёмников.

При включении однофазного электроприёмника на фазное напряжение он учитывается в графе 2 как эквивалентный трёхфазный электроприёмник номинальной мощностью

$$P_n = 3 \cdot P_{n.o}, \quad (7)$$

где $P_{n.o}$ – номинальная активная мощность однофазного ЭП, кВт.

При включении однофазного электроприёмника на линейное напряжение он учитывается как эквивалентный электроприёмник номинальной мощностью

$$P_n = \sqrt{3} \cdot P_{n.o}. \quad (8)$$

При наличии группы однофазных электроприёмников последовательность их учета в электрической нагрузке цеха следующая:

- 1) однофазные электроприёмники распределяются по фазам;
- 2) определяется нагрузка каждой фазы от однофазных электроприёмников:

$$\begin{aligned} P_{n.o(A)} &= \sum P_{n.o(A)}; \\ P_{n.o(B)} &= \sum P_{n.o(B)}; \\ P_{n.o(C)} &= \sum P_{n.o(C)}; \end{aligned} \quad (9)$$

- 3) определяется общая нагрузка каждой фазы от однофазных и трёхфазных электроприёмников:

$$\begin{aligned}
P_{н(A)} &= P_{н.o(A)} + \frac{\sum P_{н(3)}}{3}; \\
P_{н(B)} &= P_{н.o(B)} + \frac{\sum P_{н(3)}}{3}; \\
P_{н(C)} &= P_{н.o(C)} + \frac{\sum P_{н(3)}}{3},
\end{aligned}
\tag{10}$$

где $\sum P_{н(3)}$ – установленная мощность трёхфазных электроприёмников, кВт;

4) определяется неравномерность загрузки фаз по формуле:

$$\Delta P_{нр} = \frac{P_{н.max} - P_{н.min}}{P_{н.min}} \cdot 100,
\tag{11}$$

где $P_{н.max}$, $P_{н.min}$ – установленные мощности наиболее и наименее загруженной фазы соответственно, кВт.

При наличии группы однофазных электроприёмников, которые распределены по фазам с неравномерностью, не превышающей 15 % по отношению к общей мощности трёхфазных и однофазных электроприёмников в группе, они могут быть представлены в расчёте как эквивалентная группа трёхфазных электроприёмников с той же суммарной номинальной мощностью.

В случае превышения указанной неравномерности номинальная мощность эквивалентной группы трёхфазных электроприёмников принимается равной утроенному значению мощности наиболее загруженной фазы.

Далее для каждой характерной группы электроприёмников в графах 7 и 8 соответственно записываются построчно величины $K_{и} \cdot P_{н}$ и $K_{и} \cdot P_{н} \cdot \text{tg} \varphi$. В итоговой строке определяются суммы этих величин: $\sum (K_{и} \cdot P_{н})$ и $\sum (K_{и} \cdot P_{н} \cdot \text{tg} \varphi)$.

Средневзвешенный (групповой) коэффициент использования для данного узла питания определяется по формуле:

$$K_{и.гр} = \frac{\sum (K_{и} \cdot P_{н})}{\sum P_{н}}.
\tag{12}$$

Значение $K_{и.гр}$ заносится в графу 5 итоговой строки.

Эффективным числом электроприёмников называется такое число однородных по режиму работы электроприёмников одинаковой мощности, которое обуславливает те же значения расчётной нагрузки, что и группа различных по мощности электроприёмников.

Для определения эффективного числа электроприёмников $n_э$ в графе 9 построчно определяются для каждой характерной группы электроприёмников одинаковой мощности величины $n \cdot p_n^2$ и в итоговой строке – их суммарное значение $\sum(n \cdot p_n^2)$.

Эффективное число электроприёмников определяется по формуле:

$$n_э = \frac{(\sum P_n)^2}{\sum(n \cdot p_n^2)}. \quad (13)$$

Найденное по формуле (13) значение $n_э$ округляется до ближайшего меньшего целого числа.

Коэффициент расчётной нагрузки K_p определяется в зависимости от средневзвешенного коэффициента использования $K_{и.гр}$, эффективного числа электроприёмников $n_э$ и постоянной времени нагрева сети T_0 . Его значение заносится в графу 11.

В соответствии с [1] принимаются следующие постоянные времени нагрева:

– $T_0 = 10$ мин – для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные шинопроводы, пункты, сборки, щиты. Значения K_p для этих сетей принимаются по табл. П2;

– $T_0 = 2,5$ ч – для магистральных шинопроводов и цеховых трансформаторов. Значения K_p для этих сетей принимаются по табл. П3.

Расчётная активная мощность P_p – это мощность, соответствующая такой неизменной токовой нагрузке I_p , которая эквивалентна фактической изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему возможному тепловому воздействию на элемент системы электроснабжения.

Расчётная активная мощность подключенных к узлу питания электроприёмников напряжением до 1 кВ (графа 12) определяется по формуле:

$$P_p = K_p \sum (K_{и} \cdot P_{и}). \quad (14)$$

Расчётная реактивная мощность подключенных к узлу питания электроприёмников напряжением до 1 кВ (графа 13) определяется следующим образом. Для питающих сетей напряжением до 1 кВ в зависимости от $n_э$:

$$\text{при } n_э \leq 10 \quad Q_p = 1,1 \sum K_{и} \cdot P_{и} \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad (15)$$

$$\text{при } n_э > 10 \quad Q_p = \sum K_{и} \cdot P_{и} \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (16)$$

Расчётная реактивная мощность для магистральных шинопроводов и на шинах цеховых трансформаторных подстанций независимо от $n_э$ определяется по формуле:

$$Q_p = K_p \sum (K_n \cdot P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi). \quad (17)$$

Полная расчётная мощность (графа 14) определяется по формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (18)$$

К расчётной активной и реактивной мощности силовых электроприёмников напряжением до 1 кВ при необходимости должны быть добавлены осветительные нагрузки $P_{p.o}$ и $Q_{p.o}$. При отсутствии конкретных данных осветительная нагрузка цеха приближённо может быть принята равной 5 % от силовой.

Тогда полная расчётная мощность составит:

$$S_p = 1,05 \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (19)$$

Расчётный ток (графа 15) определяется по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}. \quad (20)$$

5.2 КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

При передаче по элементам системы электроснабжения реактивной мощности в них возникают потери активной мощности, за которые платит предприятие-потребитель. Компенсация реактивных нагрузок в сети потребителя позволяет:

- снизить плату поставщику за потребленную электроэнергию;
- уменьшить токовые нагрузки элементов системы электроснабжения (кабельных и воздушных линий, трансформаторов);
- улучшить качество электроэнергии за счет уменьшения отклонений напряжения от номинального значения.

Расчётную реактивную мощность компенсирующего устройства можно определить из соотношения

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_p (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_k). \quad (21)$$

где $Q_{к.р}$ – установленная мощность компенсирующего устройства, кВар;

$\alpha = 0,9$ – коэффициент, учитывающий повышение $\cos \varphi$ естественным способом;

$\operatorname{tg} \varphi, \operatorname{tg} \varphi_k$ – коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации, соответственно.

Компенсацию реактивной мощности производят до получения значения $\cos\varphi_k = 0,92...0,95$. Задавшись значением $\cos\varphi_k$ из этого промежутка, определяют $\operatorname{tg}\varphi_k$.

Значения P_p и $\operatorname{tg}\varphi$ выбираются по результату расчёта нагрузок всего цеха из табл. 2.

Для компенсации реактивной мощности в цехах чаще всего применяют комплектные конденсаторные установки, параметры которых приведены в табл. П4. Задавшись типом компенсирующего устройства, зная $Q_{k.p}$ и напряжение выбирают стандартную компенсирующую установку, близкую по мощности.

После выбора компенсирующего устройства определяется фактическое значение $\operatorname{tg}\varphi_\phi$ и $\cos\varphi_\phi$

$$\operatorname{tg}\varphi_\phi = \operatorname{tg}\varphi - \frac{Q_{k.ст}}{\alpha \cdot P_p} . \quad (22)$$

$$\cos\varphi_\phi = \cos(\operatorname{arctg}\varphi_\phi) . \quad (23)$$

После определения фактического значения коэффициента мощности производится пересчёт значений Q_p , S_p и I_p цеха. После этого в табл. 2 добавляются соответствующие данные в виде строк с указанием мощности установленного компенсирующего устройства и расчётных нагрузок цеха после компенсации реактивной мощности, как это показано ниже.

Продолжение таблицы №2

Исходные данные		Расчётная мощность			Расчётный ток, А I_p
по заданию технологов		активная, кВт, P_p	реактивная, кВар, Q_p	полная, кВ·А, S_p	
1	...	12	13	14	15
...					
Итого		393,6	210,1	446,2	
УКРМ			2х50		
После КРМ		393,6	110,1	408,7	

Конденсаторные батареи в курсовом проектировании рекомендуется подключать непосредственно к шинам низкого напряжения цеховой ТП. Общая расчётная мощность батарей $Q_{k.ст}$ на двухтрансформаторных ТП распределяется между шинами пропорционально их реактивной нагрузке.

Для схем с конденсаторными установками мощностью до 400 кВар подключение к сети производится без дополнительного коммутационного аппарата (ввиду установки предохранителей для каждой фазы в комплекте ККУ), а при мощности более 400 кВар – через отключающий аппарат (рекомендуется использование автоматического выключателя).

5.3 ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ЦЕХОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В системах внутрицехового электроснабжения широкое применение получили комплектные трансформаторные подстанции (КТП), состоящие из силовых трансформаторов, шкафов ввода высшего и низшего напряжения, шкафов отходящих линий и секционных шкафов.

Выбор числа трансформаторов для КТП определяется, главным образом, категорией электроприёмников по надёжности электроснабжения, а также графиком нагрузки цеха.

Однотрансформаторные подстанции применяются для питания электроприёмников третьей категории, а также части электроприёмников второй категории, допускающих перерыв электроснабжения на время замены трансформатора.

Для электроприёмников первой и второй категорий по надёжности электроснабжения, требующих резервирования питания, как правило, используются двухтрансформаторные подстанции. При питании преимущественно электроприёмников первой категории на стороне низшего напряжения подстанции предусматривается устройство автоматического включения резерва (АВР), срабатывающее при аварийном отключении одного из трансформаторов. При питании электроприёмников второй категории в аварийном режиме допускается неавтоматическое подключение резерва. Двухтрансформаторные подстанции применяются также для питания отдельно стоящих объектов общезаводского назначения – компрессорных, насосных станций и др.

На рис. 1 приведена принципиальная схема двухтрансформаторной подстанции с вводными автоматическими выключателями.

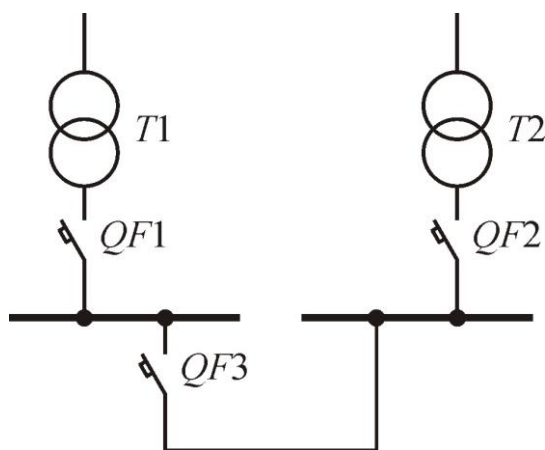


Рисунок 1 – Схема двухтрансформаторной подстанции:
QF1, QF2 – вводные автоматические выключатели; T1, T2 – силовые трансформаторы; QF3 – секционный автоматический выключатель

На выбор номинальной мощности силовых трансформаторов оказывают влияние потери мощности и электроэнергии в трансформаторах и питающей сети, а также затраты на сооружение подстанции и питающую сеть 0,4 кВ. Кроме того, выбор числа и мощности трансформаторов зависит от распределения электроприёмников по площади цеха, наличия места для расположения цеховых подстанций, характера и режима работы электроприёмников.

Номинальная мощность силовых трансформаторов определяется по условию:

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{S_p}{N \cdot K_{\text{з.норм}}} , \quad (24)$$

где S_p – полная расчётная мощность цеха, кВ·А;

N – количество трансформаторов;

$K_{\text{з.норм}}$ – нормированный коэффициент загрузки трансформатора.

В проектной практике для двухтрансформаторных цеховых подстанций при преобладании потребителей первой категории коэффициент загрузки трансформаторов $K_{\text{з.норм}}$ принимается в пределах 0,65...0,75, при преобладании потребителей второй категории – 0,7...0,8, а при преобладании потребителей третьей категории – 0,9...0,95 [10].

Выбор типа силовых трансформаторов осуществляется в зависимости от условий окружающей среды [1]. Для внутренней установки преимущественно рекомендуется применение масляных трансформаторов, но с ограничениями по числу и мощности в зависимости от места установки. Для внутрицеховых подстанций с сухими трансформаторами, мощность трансформаторов, их число, расстояние между ними, этаж, на котором они могут быть установлены, не ограничиваются. Однако их перегрузочная способность ниже, чем у масляных.

В пояснительной записке следует указать тип выбранного трансформатора и привести его технические характеристики. Технические данные силовых трансформаторов приведены в табл. П5.

В случае выбора для подстанции двух трансформаторов необходимо произвести распределение нагрузок между ними, введя дополнительные строки в табл. 2. согласно рекомендациям п. 5.6.

Коэффициент загрузки трансформатора по полной мощности в нормальном режиме определяется по формуле:

$$k_{\text{з.и}} = \frac{S_{\text{р.т.и}}}{S_{\text{ном.т}}} , \quad (25)$$

где $S_{\text{р.т.и}}$ – расчётная нагрузка i -го силового трансформатора, кВ·А.

Для двухтрансформаторных подстанций также производится определение коэффициента загрузки в послеаварийном режиме по формуле:

$$k_{з.пав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}}, \quad (26)$$

после чего делается вывод о возможности работы трансформатора в данном режиме или необходимости ограничения электропотребления.

Для однитрансформаторных подстанций определение коэффициента загрузки в послеаварийном режиме не осуществляется.

5.4 ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ЛИНИЙ СЕТИ ПИТАЮЩЕЙ ЦЕХ

Выбор сечений линий сети питающей цех от распределительного устройства ГПП до трансформаторной подстанции производится в зависимости от технических и экономических факторов.

К техническим факторам, влияющим на выбор сечений, относятся:

- нагрев длительно протекающим максимальным рабочим (расчётным) током (см. п. 5.4.1);
- потеря напряжения в линии (см. п. 5.4.2);
- термическая стойкость к токам КЗ (см. п. 5.4.3).

При выборе сечений по техническим условиям принимаются следующие условные обозначения:

- F_n – минимально допустимое сечение по нагреву длительно протекающим максимальным рабочим (расчётным) током;
- $F_{\Delta U}$ – минимально допустимое сечение по потере напряжения;
- $F_{т.с}$ – минимально допустимое сечение по термической стойкости к токам КЗ.

Экономическим фактором, влияющим на выбор сечений, является экономическая плотность тока (см. п. 5.4.4).

5.4.1 Выбор сечений по допустимому нагреву

Выбор сечений по допустимому нагреву длительно протекающим максимальным рабочим (расчётным) током производится по условию:

$$I_p \leq K_n \cdot I_{доп}, \quad (27)$$

где I_p – максимальный рабочий (расчётный) ток нагрузки, соответствующий F_n , А;

$K_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент на длительно допустимый ток, учитывающий способ прокладки;

$I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток, А.

Расчётный ток определяется по формуле:

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}, \quad (28)$$

где $S_{\text{р}}$ – расчётная нагрузка, кВт·А;

$U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение питающей линии (в данном случае указано в задании на проектирование как низшее напряжение ГПП), кВ.

Длительно допустимые токи кабелей установлены в [1] и в каталогах заводов-изготовителей. В табл. П6 и П7 приведены значения длительно допустимых токов для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией, в табл. П9 – для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена.

При прокладке нескольких кабелей в земле (включая прокладку в трубах) длительно допустимые токи должны быть уменьшены путем введения поправочного коэффициента $K_{\text{п}}$, приведенного в табл. 3. При этом не должны учитываться резервные кабели.

Таблица №3

Поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, проложенных рядом в земле

Расстояние между кабелями в свету, мм	Коэффициент при количестве кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1,00	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	1,00	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

При выборе сечений по допустимому нагреву $F_{\text{н}}$ **выбирается ближайшее большее сечение.**

5.4.2 Проверка сечений по потере напряжения

Целью проверки сечений по потере напряжения является определение уровня напряжения, подводимого к потребителям, и установление его достаточности для обеспечения нормальной работы потребителей.

Проверка сечений по потере напряжения производится по условию:

$$\Delta U_{\text{л}} \leq \Delta U_{\text{доп}}, \quad (29)$$

где $\Delta U_{\text{л}}$ – потери напряжения в линии, %;

$\Delta U_{\text{доп}} = 10\%$ – допустимые потери напряжения, %.

Потери напряжения в линии определяются по формуле:

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{р}} \cdot l \cdot 100}{U_{\text{н}}} \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi_{\text{ф}} + x_0 \cdot \sin \varphi_{\text{ф}}), \quad (30)$$

где $I_{\text{р}}$ – расчётный ток линии, А;

l – длина линии, км;

$U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение линии, В;

r_0, x_0 – удельные активное и индуктивное сопротивления линии соответственно, Ом/км (табл. П9);

$\cos \varphi_{\text{ф}}$ – фактический коэффициент мощности (определён в п. 5.2).

В случае необходимости сечение увеличивается до значения, при котором выполняется условие (29). В пояснительной записке следует указать величину сечения $F_{\Delta U}$, выбранного в результате проверки по потере напряжения.

5.4.3 Проверка сечений по термической стойкости

Для выбора термически стойкого сечения необходимо знать значение установившегося тока короткого замыкания (КЗ) из соответствующего расчёта и возможное время прохождения этого тока через кабель. К этому пункту необходимо будет вернуться после определения необходимых значений в п. 5.9.1 и п. 5.10 и, при необходимости, скорректировать $F_{\text{т.с.}}$.

Термически стойкое сечение определяется по формуле:

$$S_{\text{т.с.}} = \alpha \cdot I_{\text{к}}^{(3)} \cdot \sqrt{t_{\text{п}}}, \quad (31)$$

где α – расчётный коэффициент, определяемый ограничением допустимой температуры нагрева жил кабеля (принимается равным $\alpha = 7 \text{ мм}^2/(\text{кА} \cdot \text{с}^{1/2})$ для кабелей с медным жилами, $\alpha = 12 \text{ мм}^2/(\text{кА} \cdot \text{с}^{1/2})$ для кабелей с алюминиевыми жилами);

$I_{\text{к}}^{(3)}$ – установившийся ток трёхфазного КЗ (из расчётов в п. 5.9.1), кА;

$t_{\text{п}}$ – время прохождения тока трёхфазного КЗ, с, определяемое по формуле:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{о.в.}}, \quad (32)$$

где $t_{\text{р.з.}}$ – время действия релейной защиты, с (в курсовой работе $t_{\text{р.з.}}$ принять равным 0,1 с);

$t_{\text{о.в.}}$ – полное время отключения выключателя (из расчётов в п. 5.10), с.

При выборе сечений по термической стойкости $F_{т.с}$ **выбирается ближайшее меньшее сечение**. Основанием для этого является повышенный процент ошибки, заложенный в самом методе расчёта, в сторону превышения сечений.

5.4.4 Выбор сечений по экономической плотности тока

Сечения проводников должны быть проверены по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение $F_э$ определяется по формуле:

$$F_э = \frac{I_p}{n_{л} \cdot j_э}, \quad (33)$$

где I_p – расчётный ток в час максимума нагрузки энергосистемы, А;

$n_{л}$ – число питающих линий (в курсовой работе равно числу установленных в цеховой подстанции трансформаторов).

$j_э$ – нормированное значение экономической плотности тока, для заданных условий работы, А/мм² (табл. 4).

Таблица №4

Экономическая плотность тока

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм ² , при числе часов использования максимума нагрузки в год		
	более 1000 до 3000	более 3000 до 5000	более 5000
Неизолированные провода и шины:			
медные	2,5	2,1	1,8
алюминиевые	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной и провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с жилами:			
медными	3,0	2,5	2,0
алюминиевыми	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с жилами:			
медными	3,5	3,1	2,7
алюминиевыми	1,9	1,7	1,6

Сечение $F_э$, полученное в результате указанного расчёта, округляется **до ближайшего стандартного сечения**. После определения минимально допустимого сечения по техническим условиям оно сравнивается с экономически целесообразным сечением $F_э$, и на основании этого производится окончательный выбор сечений линий питающей сети цеха.

5.5 ВЫБОР СХЕМЫ И СПОСОБОВ ПРОКЛАДКИ ЦЕХОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

В цеховых электрических сетях различают питающую и распределительную сети. Линии цеховой электрической сети, отходящие от цеховой трансформаторной подстанции, образуют питающую сеть, а линии, непосредственно подводящие электрическую энергию от распределительных пунктов или шинопроводов к электроприёмникам, – распределительную сеть.

Схемы цеховых электрических сетей могут быть радиальными, магистральными и смешанными. На выбор схемы и её конструктивное исполнение оказывают влияние следующие факторы:

- категория электроприёмников по надёжности электроснабжения;
- размещение технологического оборудования в цехе;
- связанность электроприёмников цеха технологическим процессом;
- условия окружающей среды в цехе;
- размещение цеховых трансформаторных подстанций.

При радиальной схеме питание отдельных электроприёмников большой мощности или группы электроприёмников, подключенных к распределительным устройствам (распределительные пункты, шкафы, щиты и т.д.), осуществляется по отдельным питающим линиям.

Радиальные схемы могут выполняться одноступенчатыми, когда питание осуществляется непосредственно от цеховой трансформаторной подстанции (РП2, РП3 на рис. 2) и двухступенчатыми, когда питание осуществляется от промежуточного распределительного пункта (РП5, РП6 на рис. 2).

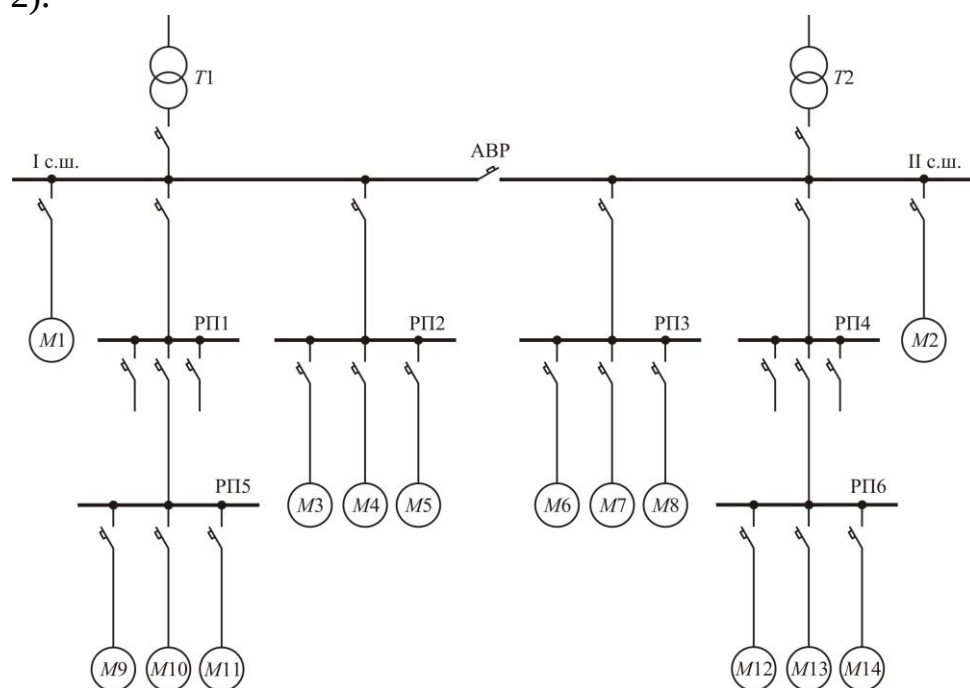


Рисунок 2 – Радиальная схема цеховой электрической сети

Радиальные схемы применяются для питания сосредоточенных нагрузок большой мощности, при неравномерном размещении технологического оборудования в цехе или на отдельных его участках, а также для питания электроприёмников во взрывоопасных, пожароопасных и пыльных помещениях, где применение магистральных схем не представляется возможным. Радиальные схемы выполняются кабелями.

К достоинствам радиальных схем относятся высокая надёжность и удобство автоматизации, поэтому они рекомендуются для питания электроприёмников первой категории по надёжности электроснабжения.

К недостаткам радиальных схем относятся значительный расход проводникового материала, необходимость в дополнительных площадях для размещения силовых распределительных пунктов, а также ограниченная гибкость сети при перемещениях технологического оборудования.

Магистральные схемы рекомендуется применять в энергоёмких производствах, при частых заменах технологического оборудования, а также при создании модульных электрических сетей для производств с нагрузкой, равномерно распределенной по площади цеха. Магистральные схемы выполняются, как правило, шинопроводами. При магистральной схеме распределение электрической энергии от цеховых трансформаторных подстанций к отдельным узлам нагрузки и мощным электроприёмникам осуществляется по отдельным линиям.

Подключение магистрали к сборным шинам распределительного устройства КТП осуществляется через линейные автоматические выключатели (рис. 3, а) или без коммутационного аппарата, т.е. наглухо (рис. 3, б).

Магистрали выполняются неизолированными шинами или комплектными шинопроводами типа ШМА. Для распределения электроэнергии используются комплектные шинопроводы типа ШРА. Электроприёмники подключаются к шинопроводам ШРА через ответвительные коробки с помощью кабелей. При глухом присоединении магистрали к трансформатору (блок трансформатор – магистраль) схемы отличаются простотой, надёжностью и экономичностью. Схемы блоков трансформатор – магистраль применяются, как правило, с числом отходящих от КТП магистралей, не превышающим числа установленных трансформаторов.

Магистральные схемы, выполненные шинопроводами, относятся к высоконадёжным элементам системы электроснабжения. Они применяются для питания электроприёмников любой категории по надёжности электроснабжения. Если требуется резервирование питания, то применяются двухтрансформаторные подстанции с установкой АВР на секционном выключателе (рис. 4).

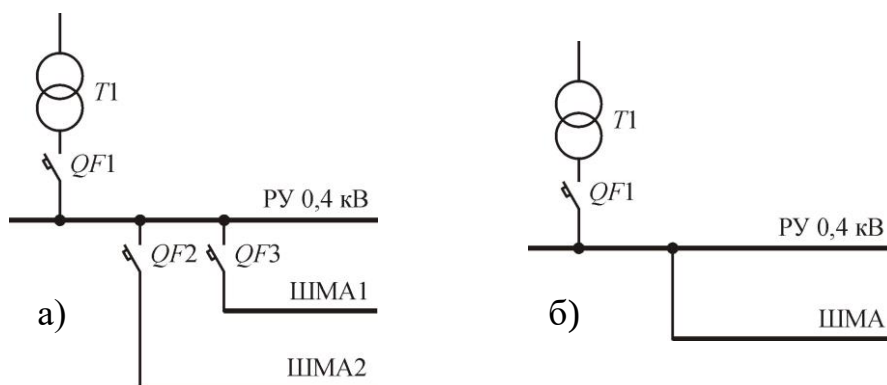


Рисунок 3 – Схема подключения магистралей к КТП:
а) через автоматические выключатели отходящих линий;
б) блок трансформатор – магистраль

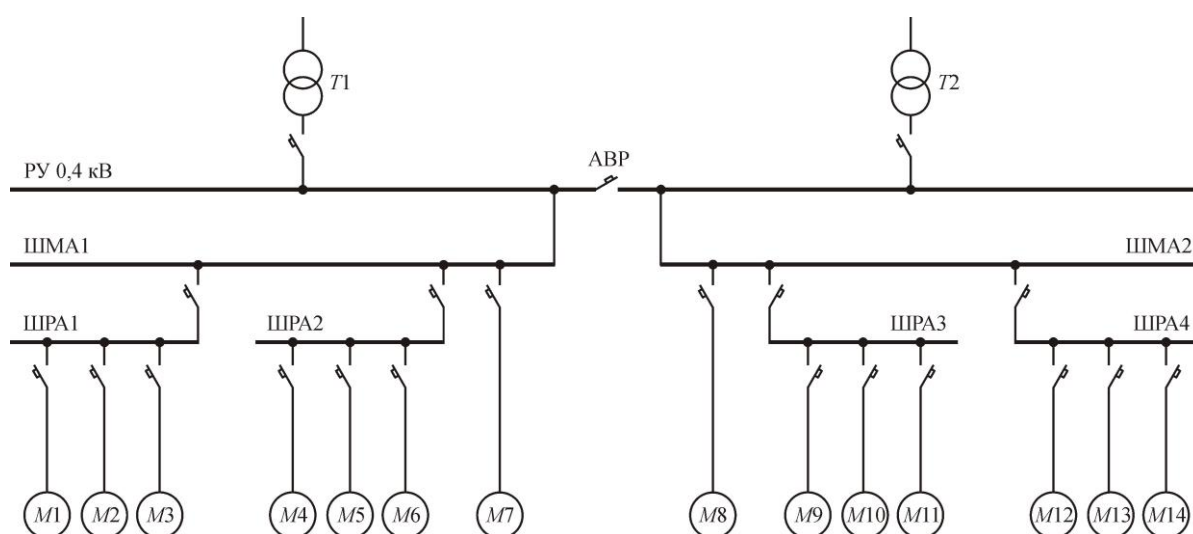


Рисунок 4 – Схема подключения магистралей к двухтрансформаторной подстанции

Магистральные схемы, выполненные шинопроводами, прокладывают в зонах, где их повреждение технологическим транспортом или перемещаемыми механизмами является маловероятным. Шинопроводы прокладывают горизонтально по напольным стойкам, по стенам и колоннам на кронштейнах, по строительным фермам и на тросах.

Шинопроводы могут быть открытыми и защищёнными от воздействия окружающей среды. Открытые шинопроводы представляют собой неизолированные шины, прокладываемые на изоляторах по опорным конструкциям на высоте не менее 3,5 м от уровня пола. Защищённые шинопроводы по сравнению с открытыми обладают следующими преимуществами: высокая технологическая готовность, небольшие габариты, высокая надёжность при эксплуатации.

Наибольшее распространение в цеховых электрических сетях промышленных предприятий получили смешанные схемы.

В зависимости от выбранной схемы цеховых электрических сетей они конструктивно могут быть выполнены кабельными линиями или комплектными шинопроводами.

Выбор способов прокладки кабелей зависит от количества кабелей, совпадающих по трассе в одном направлении, и характеристики окружающей среды в цехе.

Прокладка кабелей открыто по строительным конструкциям может применяться в любых условиях окружающей среды при числе кабелей, совпадающих по трассе в одном направлении, не более шести с учетом определенных ограничений, установленных в [1].

Тросовая прокладка кабелей применяется в помещениях со сложной конфигурацией строительных конструкций. Такой вид прокладки может использоваться в любых условиях окружающей среды, включая взрывоопасные зоны отдельных классов.

Прокладка кабелей в стальных трубах применяется только в тех случаях, когда по условиям окружающей среды (например, во взрывоопасных зонах) другие виды прокладки запрещены. Для защиты кабелей от воздействия окружающей среды и механических повреждений может также использоваться прокладка в полимерных трубах (полипропиленовых, поливинилхлоридных, полиэтиленовых и др.).

При большом числе кабелей (20 и более), совпадающих по трассе в одном направлении, следует производить прокладку кабелей на специальных кабельных конструкциях, на лотках, в коробах и в кабельных каналах.

В пояснительной записке необходимо привести результаты выбора схемы и способов прокладки цеховой электрической сети с обоснованием принятых решений, а также построить на чертеже конфигурацию электрической сети в виде принципиальной электрической схемы и плана прокладки сети согласно рекомендациям [6].

5.6 ВЫБОР СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ

Цеховые электроприёмники могут питаться либо от шин КТП непосредственно (двигатели М1 и М2 на рис. 2), либо через силовые распределительные пункты (прочие двигатели на рис. 2) в зависимости от величины их номинальной мощности (номинального тока).

Линейные панели распределительного устройства низкого напряжения (РУНН) КТП комплектуются автоматическими выключателями с номинальным током $I_{н.а} \geq 250 \text{ А}$, снабженными тепловыми расцепителями с номинальным током $I_{н.тр} \geq 100 \text{ А}$.

Силовые распределительные пункты комплектуются автоматическими выключателями с номинальным током $I_{н.а} \leq 250 \text{ А}$ и номинальным током теплового расцепителя $I_{н.тр} \leq 250 \text{ А}$.

В связи с этим мощные электроприёмники с номинальным током $I_n > 250 \text{ А}$ могут питаться только от шин КТП непосредственно, электроприёмники с $I_n \leq 80 \text{ А}$ – только через распределительные пункты, а электроприёмники с номинальным током $80 < I_n \leq 250 \text{ А}$ могут питаться либо от шин КТП непосредственно, либо через силовые распределительные пункты.

Электроприёмники малой и средней мощности объединяются в группы по территориальному признаку и питаются либо от распределительных шинопроводов при магистральных схемах цеховых электрических сетей, либо от распределительных пунктов – при радиальных схемах. Нагрузки распределительных шинопроводов и распределительных пунктов определяются по методу коэффициента расчётной активной мощности, и результаты расчёта добавляются в виде дополнительных строк в табл. 2.

Кроме того, при выборе двухтрансформаторной КТП необходимо определить нагрузку секций сборных шин, распределив электроприёмники цеха между цеховыми трансформаторами. Расчёт электрических нагрузок секций сборных шин также производится в табличной форме по методу коэффициента расчётной активной мощности. Именно эти значения принимаются за $S_{р.т.i}$ в формуле (25).

5.6.1 Выбор комплектных шинопроводов

В случае если в п. 5.5 для прокладки были приняты шинопроводы, производится их следующая проверка.

Магистральные и распределительные шинопроводы выбираются по условию длительного нагрева максимальным рабочим (расчётным) током и проверяются по потере напряжения, а также на термическую и электродинамическую стойкость к токам короткого замыкания (КЗ).

Выбор шинопроводов по длительному нагреву максимальным рабочим (расчётным) током производится по условию:

$$I_p \leq I_n, \quad (34)$$

где I_p – расчётный ток нагрузки, А;

I_n – номинальный ток шинопровода, А.

Потери напряжения в шинопроводе определяются для самой удалённой точки по формуле:

$$\Delta U_{\text{ш}} = \frac{\sqrt{3} \cdot \sum_{i=1}^n (I_{\text{pi}} \cdot l_i) \cdot 100}{U_{\text{н}}} \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \quad (35)$$

где $\sum_{i=1}^n I_{\text{pi}} \cdot l_i$ – сумма моментов токовых нагрузок шинопровода, А·м;

I_{pi} – расчётный ток i -й нагрузки, А;

l_i – длина шинопровода от ввода до точки подключения i -й нагрузки, км;

$U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение шинопровода, В;

r_0, x_0 – удельные активное и индуктивное сопротивления шинопровода соответственно, Ом/км;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности до компенсации реактивной мощности.

Шинопроводы проверяются на термическую стойкость по условию:

$$I_{\text{к}}^{(3)} \leq I_{\text{т.с}}, \quad (36)$$

где $I_{\text{к}}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ в начале шинопровода, кА;

$I_{\text{т.с}}$ – ток термической стойкости шинопровода, кА.

Проверка шинопроводов на электродинамическую стойкость производится по условию:

$$i_{\text{у}} \leq i_{\text{у.доп}}, \quad (37)$$

где $i_{\text{у}}$ – ударный ток КЗ в начале шинопровода, кА;

$i_{\text{у.доп}}$ – допустимый ударный ток КЗ (ток электродинамической стойкости) шинопровода, кА.

Технические характеристики магистральных шинопроводов серии ШМА приведены в табл. П10, распределительных шинопроводов серии ШРА – в табл. П11.

5.6.2 Выбор силовых распределительных пунктов

Для приёма и распределения электрической энергии по группам электроприёмников трехфазного переменного тока промышленной частоты напряжением 380 В применяются силовые распределительные пункты. В случае если в п. 5.5 для прокладки были принята радиальная конфигурация с силовыми распределительными пунктами, производится их следующая проверка.

Выбор силовых распределительных пунктов производится по номинальному току ввода, по числу отходящих линий, по комплектации (типу защитного аппарата), по номинальному току отходящих присоединений, по степени защиты.

Номинальный ток распределительного пункта не должен превышать расчётный ток группы электроприёмников I_p :

$$I_p \leq I_n, \quad (38)$$

где I_n – номинальный ток распределительного пункта, А.

Число присоединений к распределительному пункту не должно превышать числа отходящих от распределительного пункта линий и их допустимые токи:

$$N_{\text{прис}} \leq N_{\text{л}}, \quad (39)$$

$$I_{\text{р.прис}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (40)$$

где $N_{\text{прис}}$ – число присоединений к распределительному пункту;

$N_{\text{л}}$ – число отходящих линий;

$I_{\text{р.прис}}$ – максимальный рабочий (расчётный) ток присоединения, А;

$I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток, А.

В зависимости от типа распределительного пункта на отходящих линиях могут быть установлены предохранители или автоматические выключатели. Если отходящие линии необходимо защищать только от токов КЗ, то целесообразнее использовать распределительные пункты с предохранителями. В случае необходимости защиты линий от токов КЗ и от токов перегрузки следует выбирать распределительные пункты с автоматическими выключателями.

Технические характеристики силовых распределительных пунктов серии ПР8501 приведены в табл. П12, силовых распределительных пунктов серии ПР8503 – в табл. П13.

5.7 ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ЛИНИЙ ВНУТРИЦЕХОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Силовые линии внутрицеховых электрических сетей подразделяются на распределительные и питающие. Распределительной линией называется линия, непосредственно питающая один электроприёмник или группу электроприёмников. Питающей линией называется линия, которая питает группу электроприёмников, но непосредственно к ним не присоединяется.

Сечения силовых линий цеховой электрической сети выбираются по допустимому нагреву длительно протекающим максимальным рабочим (расчётным) током (п. 5.7.1) и проверяются по потере напряжения (п. 5.7.2) и по условию соответствия выбранному аппарату защиты (п. 5.7.3).

5.7.1 Выбор сечений по допустимому нагреву

Выбор сечений линий цеховой электрической сети по допустимому нагреву длительно протекающим максимальным рабочим (расчётным) током производится по условию:

$$I_p \leq K_T \cdot K_{\Pi} \cdot I_{\text{доп}}, \quad (41)$$

где I_p – максимальный рабочий (расчётный) ток нагрузки, А;

K_T – поправочный коэффициент на длительно допустимый ток в зависимости от температуры земли и воздуха;

K_{Π} – поправочный коэффициент на длительно допустимый ток, учитывающий способ прокладки;

$I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток, А.

За расчётный ток распределительной линии, питающей одиночный электроприёмник, принимается номинальный ток данного электроприёмника I_n (см. табл. 1):

$$I_p = I_n. \quad (42)$$

Для линий, выполненных медными проводниками сечением более 6 мм² и алюминиевыми проводниками сечением более 10 мм², питающих электроприёмники с повторно-кратковременным режимом работы, расчётный ток приводится к длительному режиму работы по формуле:

$$I_p = 1,14 \cdot I_n \cdot \sqrt{\text{ПВ}}, \quad (43)$$

где ПВ – продолжительность включения электроприёмника, о.е. (принимается для отдельных электроприёмников согласно заданию на проектирование).

Для распределительной линии, питающей группу одновременно работающих электроприёмников, расчётный ток равен сумме номинальных токов электроприёмников, входящих в данную группу:

$$I_p = \sum_{i=1}^n I_{ni}. \quad (44)$$

Для магистральных шинопроводов и питающих линий расчётная нагрузка группы электроприёмников определяется по методу коэффициента расчётной активной мощности (табл. 2 дополняется соответствующими строками), а затем определяется расчётный ток по формуле (20).

При прокладке кабелей в жарких помещениях следует учитывать поправочный коэффициент на длительно допустимые токи K_T , значения которого приведены в табл. 5.

Таблица №5

Поправочный коэффициент на длительно допустимые токи кабелей в зависимости от температуры воздуха

Материал изоляции жил кабеля	Значение K_T при температуре воздуха, °С					
	+25	+30	+35	+40	+45	+50
Резиновая изоляция	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
Поливинилхлоридная изоляция	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
Изоляция из сшитого полиэтилена	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74

Для кабелей, прокладываемых в коробах, длительно допустимые токи следует принимать с учетом снижающего коэффициента K_n , приведенного в табл. 6.

Таблица №6

Снижающий коэффициент для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах

Способ прокладки	Количество проложенных проводов и кабелей		Снижающий коэффициент для проводов питающих	
	одно-жильных	много-жильных	отдельные электро-приёмники с $K_n \leq 0,7$	группы электро-приёмников и отдельные приёмники с $K_n > 0,7$
Многослойно и пучками	—	до 4	1,0	—
	2	5 – 6	0,85	—
	3 – 9	7 – 9	0,75	—
	10 – 11	10 – 11	0,7	—
	12 – 14	12 – 14	0,65	—
	15 – 18	15 – 18	0,6	—
Однослойно	2 – 4	2 – 4	—	0,67
	5	5	—	0,6

В табл. П14 приведены значения длительно допустимых токов для кабелей с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией, в табл. П15 – для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, в табл. П16 – для гибких кабелей с резиновой изоляцией (для передвижных электроприёмников).

5.7.2 Проверка сечений по потере напряжения

Сечения силовых линий, выбранные по допустимому нагреву длительно протекающим максимальным рабочим (расчётным) током, должны быть проверены по потере напряжения по условию:

$$\Delta U_{\Sigma} = \Delta U_{\text{п.л}} + \Delta U_{\text{р.л}} \leq \Delta U_{\text{доп}}, \quad (45)$$

где $\Delta U_{\text{п.л}}$ – потери напряжения в питающей линии, %;

$\Delta U_{\text{р.л}}$ – потери напряжения в распределительной линии, %;

$\Delta U_{\text{доп}}$ – допустимые потери напряжения (принимаются равными 10 %).

Для распределительной линии, питающей одиночный электроприёмник, потери напряжения определяются по формуле:

$$\Delta U_{\text{р.л}} = \frac{\sqrt{3} I_{\text{р}} \cdot l \cdot 100}{U_{\text{н}}} \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \quad (46)$$

где $I_{\text{р}}$ – расчётный ток линии, А;

r_0 , x_0 – удельные активное и индуктивное сопротивления линии соответственно, Ом/км (табл. П17);

l – длина линии, км;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности электроприёмника (см. табл. 1).

Потери напряжения в питающей линии определяются по аналогичной формуле:

$$\Delta U_{\text{п.л}} = \frac{\sqrt{3} I_{\text{р}} \cdot l \cdot 100}{U_{\text{н}}} \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi). \quad (47)$$

Если электроприёмники, запитанные от одного распределительного пункта или распределительного шинпровода, имеют одинаковую мощность, то проверку сечений по потере напряжения следует производить для наиболее удаленного электроприёмника.

5.7.3 Проверка сечений на соответствие выбранному аппарату защиты

Данная проверка производится после выбора защитной аппаратуры – автоматических воздушных выключателей (п. 5.8). Для выбора необходимо определить пиковые нагрузки силовых линий, которые возникают при пуске электроприёмников.

Для распределительной линии, питающей одиночный электроприёмник, пиковый ток равен пусковому току данного электроприёмника:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п}}, \quad (48)$$

где $I_{\text{п}}$ – пусковой ток электроприёмника, А.

При отсутствии паспортных данных пусковой ток может быть принят равным:

- для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором и синхронных – $5 \cdot I_{\text{н}}$;
- для асинхронных двигателей с фазным ротором и двигателей постоянного тока – $2,5 \cdot I_{\text{н}}$;
- для печных и сварочных трансформаторов – $3 \cdot I_{\text{н}}$ (без приведения к ПВ = 100 %).

Для распределительной линии, питающей группу одновременно запускаемых электроприёмников, пиковый ток равен сумме пусковых токов данных электроприёмников:

$$I_{\text{пик}} = \sum_{i=1}^n I_{\text{п}i}, \quad (49)$$

где $I_{\text{п}i}$ – пусковой ток i -го электроприёмника, А.

Для магистрального шинопровода пиковый ток определяется по формуле:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п.мах}} + \sum_{i=1}^n I_{\text{н}i}, \quad (50)$$

где $I_{\text{п.мах}}$ – наибольший пусковой ток электроприёмника в группе, А;

$I_{\text{н}i}$ – номинальный ток i -го электроприёмника в группе (кроме электроприёмника с наибольшим пусковым током, учтённого в виде первого слагаемого равенства), А.

Для питающей линии пиковый ток определяется по формуле:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п.мах}} + (I_{\text{р}} - K_{\text{н}} \cdot I_{\text{н.мах}}), \quad (51)$$

где $I_{\text{п.мах}}$ – наибольший пусковой ток электроприёмника в группе, А;

$I_{\text{р}}$ – максимальный расчётный ток электроприёмников, питающихся от данной линии, А;

$K_{\text{н}}$ – коэффициент использования электроприёмника с наибольшим пусковым током;

$I_{\text{н.мах}}$ – номинальный ток электроприёмника с наибольшим пусковым током, А.

Для того чтобы протекание токов перегрузки и токов короткого замыкания по проводникам не приводило к их перегреву, выбранное сечение должно быть согласовано с аппаратом защиты по условию:

$$\frac{I_{\text{доп}}}{I_3} \geq K_3, \quad (52)$$

где $I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток, А;
 I_3 – ток аппарата защиты, А;
 K_3 – коэффициент защиты согласно табл. 7.

Таблица №7

Коэффициент защиты электрических сетей

Тип защитного аппарата и принимаемый ток защиты I_3	Коэффициент защиты K_3 или кратность длительно допустимого тока для сетей			
	при обязательной защите от перегрузки			не требуется защиты от перегрузки
	проводники с резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией		кабели с бумажной изоляцией	
	взрыво- и пожаро-опасные помещения	невзрыво- и непожаро-опасные помещения		
Автоматический выключатель, имеющий только максимальный мгновенно действующий расцепитель: $I_3 = I_{н.э.р}$	1,25	1,0	1,0	0,22
Автоматический выключатель с нерегулируемой обратнoзависимой характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки): $I_3 = I_{н.т.р}$	1,0	1,0	1,0	1,0
Автоматический выключатель с регулируемой, обратнoзависимой от тока характеристикой (при наличии отсечки): $I_3 = I_{уст}$ при перегрузке	1,0	1,0	0,8	0,66

В пояснительной записке необходимо привести пример выбора сечений для одной распределительной и одной питающей линий. Результаты выбора сечений линий всей цеховой электрической сети следует свести в табл. 8.

Таблица №8

Выбор сечений линий цеховой электрической сети

Обозначение линии	Марка кабеля	Способ прокладки	Длина линии l , м	Максимальный рабочий ток I_p , А	Пиковый ток $I_{\text{пик}}$, А	Поправочный коэффициент K_t	Поправочный коэффициент K_p	Сечение по допустимому нагреву F_n , мм ²	Длительно допустимый ток I_d , А	Потери напряжения в линии $\Delta U_{\text{л}}$, %	Суммарные потери напряжения ΔU_{Σ} , %	Коэффициент защиты K_3	Ток аппарата защиты I_3 , А	Окончательно выбранное сечение F , мм ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

5.8 ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВОЗДУШНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

В качестве аппаратов защиты электрических цепей при возникновении в них коротких замыканий или перегрузок наиболее часто применяют предохранители и автоматические воздушные выключатели. Номенклатура автоматических выключателей позволяет широко применять их в промышленных электрических сетях. Уставки и выдержки времени автоматических выключателей могут быть регулируемы. Поэтому в курсовом проектировании прием их в качестве основных аппаратов защиты на низком напряжении.

Автоматические выключатели выбираются по следующим условиям:

- по номинальному напряжению:

$$U_{\text{н.а}} \geq U_{\text{с}}, \quad (53)$$

где $U_{\text{н.а}}$ – номинальное напряжение автоматического выключателя, В;

$U_{\text{с}}$ – номинальное напряжение электрической сети, В;

- по номинальному току:

$$I_{\text{н.а}} \geq I_p, \quad (54)$$

где $I_{н.а}$ – номинальный ток автоматического выключателя, А;
 I_p – расчётный ток нагрузки, А;
– по номинальному току теплового расцепителя:

$$I_{н.т.р} \geq I_p, \quad (55)$$

где $I_{н.т.р}$ – номинальный ток теплового расцепителя, А;
– по номинальному току электромагнитного расцепителя:

$$I_{н.э.р} \geq (1,25 \div 1,35) \cdot I_{пик}, \quad (56)$$

где $I_{н.э.р}$ – номинальный ток электромагнитного расцепителя, А;
 $I_{пик}$ – пиковый ток защищаемого электроприёмника, А (см. п. 5.7.3).

Автоматические выключатели проверяются по отключающей способности по условию:

$$I_o \geq I_k^{(3)}, \quad (57)$$

где I_o – отключающая способность автоматического выключателя, кА;
 $I_k^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ на выходе автоматического выключателя, кА.

Проверка правильности выбора автоматических выключателей по чувствительности действия защит производится по условию:

– для тепловых расцепителей:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_k^{(1)}}{I_{н.т.р}} &\geq 3 \text{ – для помещений с нормальной средой;} \\ \frac{I_k^{(1)}}{I_{н.т.р}} &\geq 4 \text{ – для помещений с взрывоопасной средой;} \end{aligned} \right\} \quad (58)$$

– для электромагнитных расцепителей:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_k^{(1)}}{I_{н.э.р}} &\geq 1,4 \text{ – для АВ с } I_{н.а} \leq 100 \text{ А;} \\ \frac{I_k^{(1)}}{I_{н.э.р}} &\geq 1,25 \text{ – для остальных АВ,} \end{aligned} \right\} \quad (59)$$

где $I_k^{(1)}$ – ток однофазного КЗ в конце зоны защиты автоматического выключателя, А.

Номинальные токи расцепителей автоматических выключателей, последовательно включенных в цепь на разных уровнях системы электроснабжения, должны различаться не менее чем на одну ступень. Номинальные токи расцепителей автоматического выключателя,

ближайшего к источнику питания (вводного), должны быть не менее чем в 1,5 раза выше по сравнению с наиболее удаленным. Выполнение указанных условий обеспечивает селективность срабатывания тепловых расцепителей. При КЗ селективность защиты обеспечиваться не будет, т.к. электромагнитные расцепители при токах, равных или больших их токов уставки, срабатывают практически мгновенно.

Если выбранные аппараты защиты не проходят проверку по отключающей способности, то их следует заменить другими аппаратами с большей отключающей способностью. Если аппараты защиты не проходят проверку по чувствительности, то необходимо увеличить сечения линий для того, чтобы увеличить ток однофазного КЗ.

Технические характеристики автоматических выключателей приведены в табл. П18.

В пояснительной записке необходимо привести пример выбора аппарата защиты. Результаты выбора защитной аппаратуры следует сводить в табл. 9.

Таблица №9

Выбор автоматических воздушных выключателей

1	Обозначение линии
2	Обозначение ЭП или узла питания
3	Тип автоматического выключателя
4	Номинальное напряжение выключателя U_n , В
5	Максимальный рабочий ток I_p , А
6	Номинальный ток автоматического выключателя $I_{н.а}$, А
7	Номинальный ток теплового расцепителя $I_{н.т.р}$, А
8	Пиковый ток, $I_{пик}$, А
9	Номинальный ток электромагнитного расцепителя $I_{н.э.р}$, А
10	Отключающая способность автоматического выключателя I_o , кА
11	Ток трехфазного КЗ на выходе автоматического выключателя $I_k^{(3)}$, кА
12	Ток однофазного КЗ в конце зоны защиты автоматического выключателя $I_k^{(1)}$, кА
13	Коэффициент чувствительности теплового расцепителя, $k_{ч.т.р}$
14	Коэффициент чувствительности электромагнитного расцепителя, $k_{ч.э.р}$

5.9 РАСЧЁТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

5.9.1 Расчёт токов короткого замыкания в высоковольтной сети

При расчёте токов короткого замыкания ввиду простоты используем метод расчёта в именованных единицах. Порядок расчёта токов короткого замыкания (КЗ) следующий:

1. Составление расчётной схемы.

Расчётная схема составляется в однолинейном виде. В неё вводятся все источники, участвующие в питании места КЗ, и все элементы системы электроснабжения (трансформаторы, линии и др.), расположенные между ними и местом КЗ. На расчётной схеме указываются основные параметры элементов (сопротивление энергосистемы, длины, сечение и погонные параметры линий от ГПП до ТП) и отмечаются точки КЗ.

Расчётная схема сети высокого напряжения (ВН) строится аналогично сети низкого напряжения (НН), приведённой на рис. 5.

2. Выбор расчётного напряжения.

Расчётное напряжение принимается для каждой ступени напряжения равным её среднему номинальному напряжению. Шкала средних номинальных напряжений: 230; 154; 115; 37; 20; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,4; 0,23 кВ. Расчётное напряжение в расчётах будет меняться для каждой ступени напряжения в зависимости от точки КЗ. При расчётах действительные коэффициенты трансформации трансформаторов заменяются отношениями средних номинальных напряжений. При этом пересчет относительных сопротивлений по напряжению не производится.

3. Составление схемы замещения.

Схема замещения составляется в однолинейном виде. На ней все элементы преобразуются в эквивалентные им сопротивления. Схема замещения сети ВН строится аналогично сети НН, приведённой на рис. 6.

4. Определение сопротивлений элементов системы электроснабжения.

Сопротивление энергосистемы x_c задано в исходных данных на проектирование.

Активное и индуктивное сопротивления линии электропередачи определяются по формулам:

$$x_{\text{л}} = x_0 \cdot l, \quad (60)$$

$$r_{\text{л}} = r_0 \cdot l, \quad (61)$$

где r_0 , x_0 – удельные активное и индуктивное сопротивления линии (для сети ВН найдены в пп. 5.4.2 из табл. П9), Ом/км;

l – длина линии (задана в исходных данных на проектирование), км.

5. Определение суммарного полного сопротивления до точки КЗ.

После определения сопротивлений элементов определяется суммарное полное сопротивление до точки КЗ по формуле:

$$z_{\Sigma} = \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}, \quad (62)$$

где r_{Σ} и x_{Σ} – суммарные активное и индуктивное сопротивления до точки КЗ, определяемые упрощением схемы замещения путём объединения последовательно и параллельно соединённых элементов Ом.

Активное сопротивление следует учитывать в случае, если его суммарное значение составляет более одной трети индуктивного сопротивления всех элементов схемы до точки КЗ, т. е. когда $r_{\Sigma} \geq 1/3 x_{\Sigma}$.

6. Расчёт тока трёхфазного КЗ.

Ток трёхфазного КЗ определяется по формуле:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_p}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma}}. \quad (63)$$

7. Расчёт ударного тока КЗ.

Ударный ток КЗ определяется по формуле:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (64)$$

где k_y – ударный коэффициент. При упрощённых расчётах для сети 6 – 10 кВ ударный коэффициент принимается равным $k_y = 1,369$.

Найденные значения токов используются для проверки кабелей 6 – 10 кВ на термическую стойкость (необходимо вернуться к пп. 5.4.3), а также для выбора и проверки силовых выключателей 10 кВ, устанавливаемых в РУ ВН проектируемой ТП цеха (п. 5.10).

5.9.2 Расчёт токов короткого замыкания в низковольтной сети

Расчёт токов КЗ в низковольтной сети производится для проверки защитной аппаратуры по отключающей способности и чувствительности (п. 5.8), а также для проверки шинопроводов по термической и электродинамической стойкости (пп. 5.6.1). Для этого рассчитываются токи трехфазного КЗ $I_{\kappa}^{(3)}$ на выходе защитных аппаратов, токи однофазного КЗ $I_{\kappa}^{(1)}$ в конце защищаемой зоны аппарата защиты, ток трехфазного КЗ и ударный ток КЗ i_y в начале шинопровода.

Токи КЗ в электрических сетях напряжением до 1 кВ рекомендуется рассчитывать в именованных единицах. Активные и индуктивные сопротивления всех элементов рекомендуется выражать в миллиомах.

Расчёт токов КЗ в электрических сетях до 1 кВ имеет ряд особенностей.

При расчёте токов КЗ в низковольтной сети следует учитывать:

1) индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи, включая силовые трансформаторы, проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;

2) активные сопротивления элементов короткозамкнутой цепи;

3) активные сопротивления различных контактов и контактных соединений;

4) значения параметров синхронных и асинхронных электродвигателей.

Коэффициенты трансформации силовых трансформаторов допускается принимать равными отношению средних номинальных напряжений тех ступеней напряжения сетей, которые связывают трансформаторы.

Для определения суммарных сопротивлений до точки КЗ необходимо составить расчётную схему, на которой приводятся технические характеристики цеховых трансформаторов (тип, схема соединения обмоток, номинальная мощность, напряжение КЗ трансформатора и мощность потерь КЗ), марка кабелей, сечения и длины линий, типы и номинальные токи защитных аппаратов, точки КЗ. Пример расчётной схемы приведен на рис. 5.

Далее на основании расчётной схемы составляются схемы замещения прямой и нулевой последовательностей, представленные на рис. 6 и 7 соответственно.

При расчёте токов КЗ в электроустановках, получающих питание непосредственно от сети энергосистемы, допускается считать, что силовые трансформаторы подключены к источнику неизменного по амплитуде напряжения через эквивалентное индуктивное сопротивление системы. Значение этого сопротивления в миллиомах, приведенное к ступени низшего напряжения сети, определяется по формуле:

$$\chi_c = \frac{U_{\text{НН.ср}}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{к.ВН}}^{(3)} \cdot U_{\text{ВН.ср}}}, \quad (65)$$

где $U_{\text{НН.ср}}$ – среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмотке низшего напряжения трансформатора, В;

$U_{\text{ВН.ср}}$ – среднее номинальное напряжение сети, к которой подключена обмотка высшего напряжения трансформатора, В;

$I_{\text{к.ВН}}^{(3)}$ – действующее значение периодической составляющей тока при трёхфазном КЗ у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, кА.

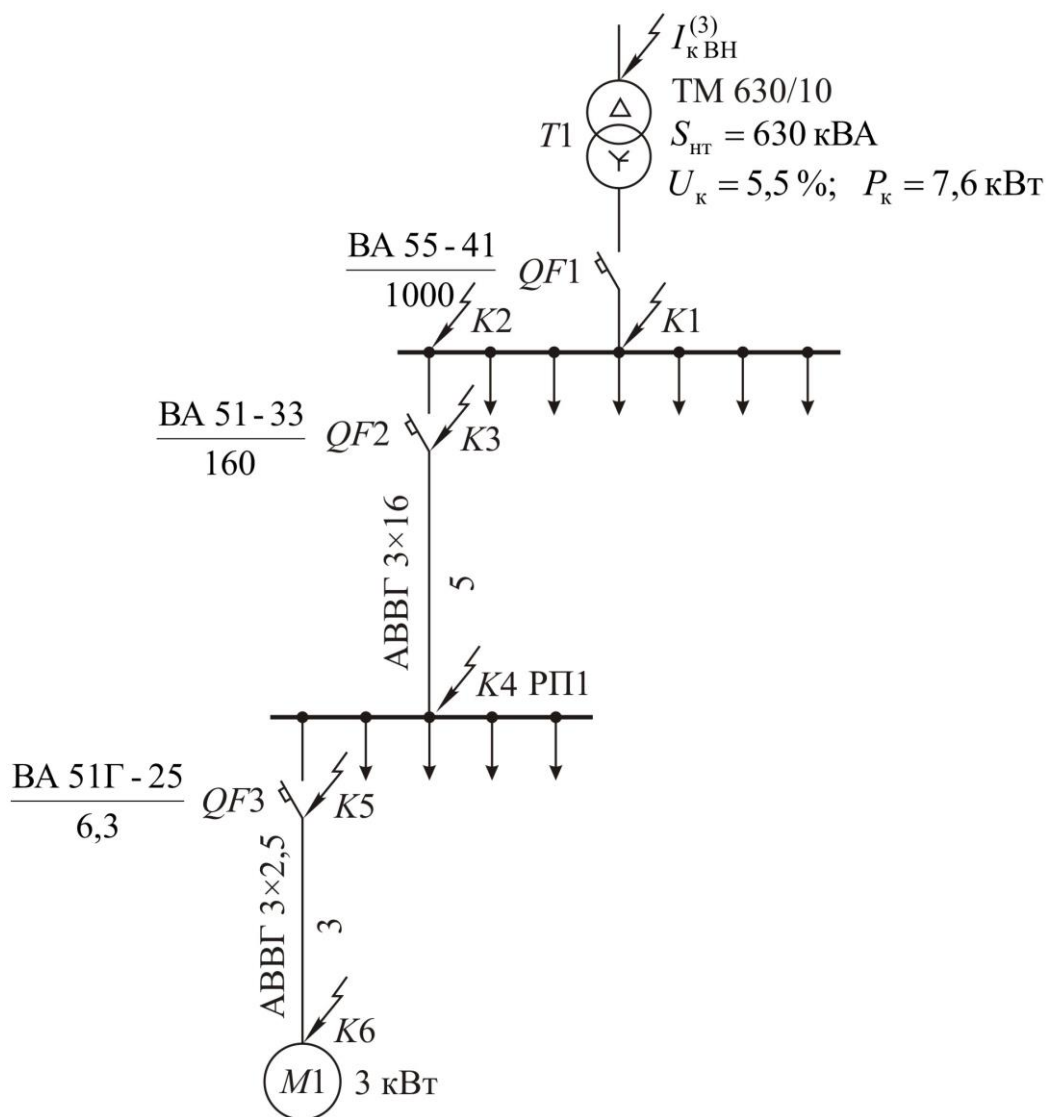


Рисунок 5 – Расчётная схема

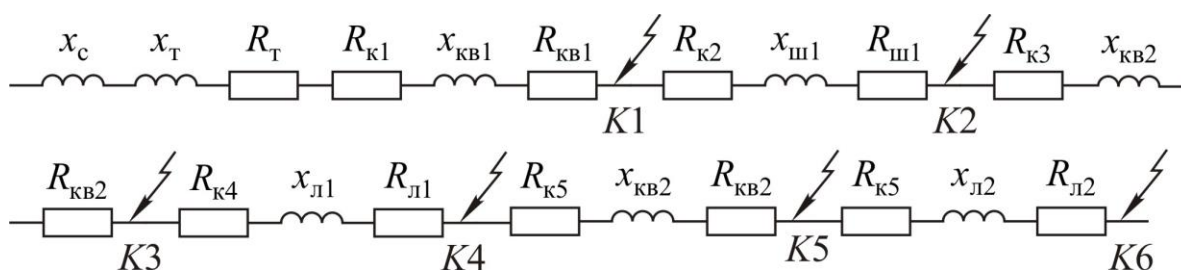


Рисунок 6 – Схема замещения прямой последовательности:

x_c – эквивалентное сопротивление системы;

R_T, x_T – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности цехового трансформатора;

R_{KB}, x_{KB} – активное и индуктивное сопротивления токовых катушек автоматических выключателей; $R_{л}, x_{л}$ – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности кабельных линий;

R_k – активное сопротивление различных контактов

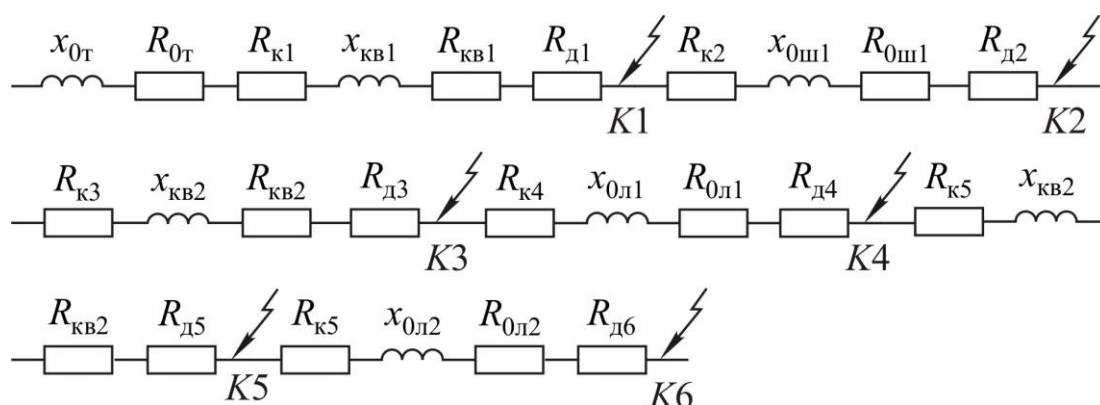


Рисунок 7 – Схема замещения нулевой последовательности:

R_{0T} , x_{0T} – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности цехового трансформатора;

$R_{0л}$, $x_{0л}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности кабельных линий;

$R_{д}$ – сопротивление дуги в месте короткого замыкания

Активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности силовых трансформаторов в миллиомах, приведенные к ступени низшего напряжения сети, определяются по формулам:

$$r_T = \frac{\Delta P_K \cdot U_{HH.ном}^2}{S_{ном.Т}^2} \cdot 10^6; \quad (66)$$

$$x_T = \frac{U_K \cdot U_{HH.ном}^2}{S_{ном.Т}} \cdot 10^4, \quad (67)$$

где $S_{ном.Т}$ – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

ΔP_K – потери КЗ в трансформаторе, кВт;

$U_{HH.ном}$ – номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, кВ;

U_K – напряжение КЗ трансформатора, %.

Активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности силовых трансформаторов, обмотки которых соединены по схеме Δ/Y_0 , при расчёте токов КЗ в низковольтной сети следует принимать равными соответственно активным и индуктивным сопротивлениям прямой последовательности. При других схемах соединения обмоток трансформаторов активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности необходимо принимать в соответствии с указаниями заводов-изготовителей.

Активные и индуктивные сопротивления прямой и нулевой последовательностей шинопроводов приведены в табл. П10 и П11, кабелей – в табл. П19. Значения переходных сопротивлений контактных соединений кабелей, контактов коммутационных аппаратов и шинопроводов приведены в табл. 10 – 12, соответственно.

Таблица №10

Сопротивления контактных соединений кабелей

Сечение алюминиевого кабеля, мм ²	16	25	35	50	70	95	120	150	240
Сопротивление, мОм	0,085	0,064	0,056	0,043	0,029	0,027	0,024	0,021	0,012

Таблица №11

Приближённые значения сопротивлений разъёмных контактов коммутационных аппаратов напряжением до 1 кВ

Номинальный ток аппарата, А	Активное сопротивление, мОм, разъёмных соединений		
	автоматического выключателя	рубильника	разъединителя
50	1,30	—	—
70	1,00	—	—
100	0,75	0,50	—
150	0,65	—	—
200	0,60	0,40	—
400	0,40	0,20	0,20
600	0,25	0,15	0,15
1000	0,12	0,08	0,08
3000	—	—	—

Таблица №12

Сопротивления контактных соединений шинопроводов

Номинальный ток, А	250	400	630	1600	2500	4000
Сопротивление контактного соединения, мОм	0,009	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001

При приближённом учёте сопротивлений контактов принимают: $r_k = 0,1$ мОм – для контактных соединений кабелей; $r_k = 0,01$ мОм – для шинопроводов; $r_k = 1,0$ мОм – для коммутационных аппаратов.

Расчёт токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ следует производить с учетом активных и индуктивных сопротивлений катушек (расцепителей) максимального тока автоматических выключателей, принимая значения активных и индуктивных сопротивлений нулевой последовательности равными соответствующим сопротивлениям прямой последовательности. Значения сопротивлений катушек расцепителей и контактов некоторых автоматических выключателей приведены в табл. 13.

Таблица №13

Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей

Номинальный ток выключателя, А	Сопротивление катушки и контакта, мОм	
	r_{KB}	χ_{KB}
50	7	4,50
70	3,50	2
100	2,15	1,20
140	1,30	0,70
200	1,10	0,50
400	0,65	0,17
600	0,41	0,13
1000	0,25	0,10
1600	0,14	0,08
2500	0,13	0,07
4000	0,10	0,05

При определении минимального значения тока КЗ следует учитывать влияние на ток КЗ активного сопротивления электрической дуги в месте КЗ. Приближенные значения активного сопротивления дуги приведены в табл. 14.

Таблица №14

Значения активного сопротивления дуги

Расчётные условия КЗ	Активное сопротивление дуги r_d , мОм, при КЗ за трансформатором мощностью, кВ·А					
	250	400	630	1000	1600	2500
КЗ вблизи выводов низшего напряжения трансформатора: - в разделке кабелей напряжением: 0,4 кВ 0,69 кВ	15 12	10 7	7 5	5 4	4 3	3 2
- в шинопроводе ШМА напряжением: 0,4 кВ 0,69 кВ	— —	— —	— —	6 4	4 3	3 2
КЗ в конце шинопровода ШМА длиной 100 – 150 м напряжением: 0,4 кВ 0,69 кВ	— —	— —	— —	6 – 8 4 – 6	5 – 7 3 – 5	4 – 6 2 – 4

При электроснабжении электроустановки от энергосистемы через понижающий трансформатор начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ в килоамперах без учета подпитки от электродвигателей определяется по формуле:

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{U_{\text{нн.ср}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (68)$$

где $U_{\text{нн.ср}}$ – среднее номинальное напряжение сети, в которой произошло короткое замыкание, В;

$r_{1\Sigma}$ и $x_{1\Sigma}$ – суммарные активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности цепи КЗ до точки КЗ соответственно, мОм.

Значение периодической составляющей тока однофазного КЗ от системы в килоамперах рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{к}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{нн.ср}}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}, \quad (69)$$

где $r_{0\Sigma}$ и $x_{0\Sigma}$ – суммарные активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности цепи КЗ до точки КЗ соответственно, мОм.

5.10 ВЫБОР ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Выключатели являются основными коммутационными аппаратами в электроустановках и должны обеспечивать коммутацию электрических цепей, как в нормальных, так и в аварийных режимах. Поэтому выключатели выбираются по допустимому напряжению (по уровню изоляции), по длительному нагреву максимальным рабочим (расчётным) током и проверяются по отключающей способности, а также на электродинамическую и термическую стойкость к токам КЗ.

Выбор выключателей по допустимому напряжению производится по условию:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{н}}, \quad (70)$$

где $U_{\text{уст}}$ – номинальное напряжение проектируемой электроустановки, кВ;

$U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение выключателя, кВ.

Выбор выключателей по длительному нагреву максимальным рабочим (расчётным) током производится по условию:

$$I_{\text{раб.мах}} \leq I_{\text{н}}, \quad (71)$$

где $I_{\text{раб.мах}}$ – максимальный рабочий ток выключателя, А;

I_n – номинальный (каталожный) ток выключателя, А.

Поскольку наиболее тяжелым режимом отключения является отключение КЗ, то проверка выключателей по отключающей способности производится по условию:

$$I_{п0} \leq I_{откл.н}, \quad (72)$$

где $I_{п0}$ – начальное значение периодической составляющей полного тока КЗ, кА (в учебных расчётах принимается $I_{п0} = I_k^{(3)}$, определённое в пп. 5.9.1);

$I_{откл.н}$ – номинальный ток отключения проверяемого выключателя, кА.

Проверка на электродинамическую стойкость к токам КЗ необходима для проверки выключателей на механическую прочность в режиме КЗ и производится по условию:

$$i_y \leq i_{пр.с}, \quad (73)$$

где i_y – ударный ток режима КЗ, кА;

$i_{пр.с}$ – каталожное значение предельного сквозного тока выбираемого выключателя, кА.

Для проверки выключателей на термическую стойкость к токам КЗ определяется расчётное значение теплового импульса тока КЗ и сравнивается с номинальным значением теплового импульса выбираемого выключателя:

$$B_{к.рас.} \leq B_{к.н}, \quad (74)$$

где $B_{к.рас.} = I_{п0}^2 \cdot (t_{откл} + T_a)$ – расчётное значение теплового импульса в период КЗ, кА²·с;

$t_{откл} = t_{р.з} + t_{о.в}$ – длительность КЗ, с;

$t_{р.з}$ – время действия релейной защиты, с (в расчётах принять равным 0,01 с);

$t_{о.в}$ – полное время отключения выключателя, с;

T_a – постоянная времени затухания периодической составляющей тока КЗ, с (в расчётах принять равным 0,01 с);

$B_{к.н} = I_T^2 t_T$ – номинальное значение теплового импульса выключателя, кА²·с;

I_T – номинальный ток термической стойкости выключателя, кА;

t_T – номинальное значение времени термической стойкости выключателя, с.

Технические данные некоторых типов выключателей приведены в табл. П20 – П22.

Если выбранный выключатель не проходит проверку по отключающей способности, электродинамической или термической стойкости, необходимо ограничивать ток КЗ дополнительными мерами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На этом процесс выполнения пояснительной записки к курсовой работе заканчивается.

В процессе выполнения выбора силовых трансформаторов, электрических аппаратов и проводников и др. становятся известны их типы. На чертёж, выполняемый параллельно с проведением выбора электрооборудования, наносятся их типы.

После завершения всех расчётов и построения чертежа в пояснительной записке пишется заключение и составляется библиографический список согласно рекомендациям [5]. После чего законченная курсовая работа сдается на проверку преподавателя и, при отсутствии существенных ошибок, защищается студентом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Правила** устройства электроустановок [Текст]. 7-е издание. - СПб: ДЕАН, 2009. - 704с.

2. **Указания** по расчёту электрических нагрузок [Текст]: РТМ 36.18.32.4-92 : утв. ВНИПИ Тяжпромэлектропроект 30.07.92; ввод в действие с 01.01.93.

3. **Крючков, И.П.** Расчёт токов коротких замыканий и выбор электрооборудования [Текст] : учебное пособие / И.П. Крючков, Б.Н. Неклепаев, В. А. Старшинов и др.; Под ред. И.П. Крючкова и В. А. Старшинова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 416с.

4. **Шеховцов, В.П.** Расчёт и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования [Текст] / В.П. Шеховцов. – М. : ИНФРА-М, 2005. – 214 с.

5. **Леонов, Е.Н.** Электроснабжение. Ч. 2. Исходные данные для проектирования. Выполнение графической части работы [Текст]: метод. указ. по выполнению курсовой работы для студентов, обучающихся по напр. 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника» / сост. Е.Н. Леонов; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – 1-е изд. – Тюмень: Издательский центр БИК, ТюмГНГУ, 2015.– 32 с.

6. **Леонов, Е.Н.** Электроснабжение. Ч. 2. Общие положения [Текст]: метод. указ. по выполнению курсовой работы для студентов, обучающихся по напр. 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника» / сост. Е.Н. Леонов; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – 1-е изд. – Тюмень: Издательский центр БИК, ТюмГНГУ, 2014.– 24 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

7. **Коробов, Г.В.** Электроснабжение. Курсовое проектирование: Учебное пособие [Текст] / Г. В. Коробов, В. В. Картавцев, Н. А. Черемисинова. Под общ. ред. Г.В. Коробова. 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 192 с.

8. **Электротехнический справочник** [Текст]: В 4 т. Т. 2. Электротехнические изделия и устройства / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др.; Гл. ред. И.Н. Орлов. - 9-е изд., стер. - М.: Издательство МЭИ, 2003. – 518 с.

9. **Электротехнический справочник** [Текст]: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов) – 9-е изд., стер. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 964 с.

10. **Быстрицкий, Г.Ф.** Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов. [Текст]: учебное пособие для вузов/ Г.Ф. Быстрицкий.- М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 176 с.

СОДЕРЖАНИЕ

5 МЕТОДИКА РАЧЁТОВ.....	3
5.1 Расчёт электрических нагрузок.....	3
5.2 Компенсация реактивной мощности.....	9
5.3 Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов.....	11
5.4 Выбор сечений линий сети питающей цех.....	13
5.4.1 Выбор сечений по допустимому нагреву.....	13
5.4.2 Проверка сечений по потере напряжения.....	14
5.4.3 Проверка сечений по термической стойкости.....	15
5.4.4 Выбор сечений по экономической плотности тока.....	16
5.5 Выбор схемы и способов прокладки цеховой электрической сети.....	17
5.6 Выбор силового электрооборудования напряжением до 1 кВ.....	20
5.6.1 Выбор комплектных шинопроводов.....	21
5.6.2 Выбор силовых распределительных пунктов.....	22
5.7 Выбор сечений линий внутрицеховой электрической сети.....	23
5.7.1 Выбор сечений по допустимому нагреву.....	24
5.7.2 Проверка сечений по потере напряжения.....	26
5.7.3 Проверка сечений на соответствие выбранному аппарату защиты.....	26
5.8 Выбор автоматических воздушных выключателей.....	29
5.9 Расчёт токов короткого замыкания.....	32
5.9.1 Расчёт токов короткого замыкания в высоковольтной сети...	32
5.9.2 Расчёт токов короткого замыкания в низковольтной сети....	33
5.10 Выбор высоковольтных выключателей.....	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	41
Список используемой литературы.....	42