

Р. В. Беляевский

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ



2011

Беляевский Р. В.

Электроснабжение и электрооборудование предприятий : учеб. пособие/
Р. В. Беляевский. – Кемерово : ГУ КузГТУ, 2011. – 109с.

В учебном пособии представлены материалы, необходимые для проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий. Рассмотрены основные методики определения электрических нагрузок, выбора числа и мощности трансформаторов, выбора схемы и способов прокладки электрической сети, выбора сечений линий электрической сети, выбора защитной аппаратуры, расчета токов короткого замыкания и др. Приведены основные данные о технических характеристиках электрооборудования, применяемого при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий.

© ГУ КузГТУ

© Беляевский Р. В.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1. Общие положения	7
1.1. Цели и задачи изучения дисциплины	7
1.2. Содержание проекта	7
2. Исходные данные для проектирования	10
3. Методические указания по проектированию	17
3.1. Расчет электрических нагрузок	17
3.2. Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов ..	24
3.3. Выбор схемы и способов прокладки цеховой электрической сети	27
3.4. Выбор силового электрооборудования напряжением до 1 кВ	31
3.4.1. Выбор комплектных шинопроводов	32
3.4.2. Выбор силовых распределительных пунктов	33
3.5. Выбор сечений линий распределительной сети предприя- тия	34
3.5.1. Выбор сечений по допустимому нагреву ...	34
3.5.2. Проверка сечений по потере напряжения ...	36
3.5.3. Выбор сечений по механической прочности	37
3.5.4. Проверка сечений по термической стойкости	37
3.5.5. Выбор сечений по экономической плотности тока	38
3.6. Выбор сечений линий цеховой электрической сети	39
3.6.1. Выбор сечений по допустимому нагреву ...	39
3.6.2. Проверка сечений по потере напряжения ...	41
3.6.3. Проверка сечений на соответствие выбранному аппарату защиты	42
3.7. Выбор защитной аппаратуры	44
3.7.1. Выбор плавких предохранителей	44
3.7.2. Выбор автоматических выключателей	45
3.8. Расчет токов короткого замыкания	48
3.8.1. Расчет токов короткого замыкания в высоковольтной сети	48
3.8.2. Расчет токов короткого замыкания в низковольтной сети	51
3.9. Выбор высоковольтной коммутационной аппаратуры	60
3.9.1. Выбор выключателей	60
3.9.2. Выбор разъединителей	62
3.10. Методические указания по выполнению графической ча- сти проекта	62

ВВЕДЕНИЕ

Данное учебное пособие позволяет решить вопросы проектирования по дисциплине «Электроснабжение и электрооборудование предприятий» полностью, опираясь на теоретический курс и не прибегая к дополнительным источникам.

Учебное пособие включает три основные части:

1. Общие положения.
2. Исходные данные для проектирования.
3. Методические указания по проектированию.

Справочный материал представлен в Приложении.

Общие положения включают цели и задачи изучения дисциплины, а также общие методические указания по проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий.

Исходные данные для проектирования содержат схемы электроснабжения промышленного предприятия, план расположения электрооборудования цеха, перечень и номинальная мощность электроприемников цеха.

Методические указания по проектированию включают основные методики расчета электрических нагрузок, выбора числа и мощности цеховых трансформаторов, выбора схемы и способов прокладки цеховой электрической сети, выбора сечений линий электрической сети, выбора защитной аппаратуры, расчета токов короткого замыкания, выбора высоковольтной коммутационной аппаратуры.

Приложение содержит основные данные о технических характеристиках электрооборудования, применяемого при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Цели и задачи изучения дисциплины

Целью изучения дисциплины «Электроснабжение и электрооборудование предприятий» является углубление и расширение теоретических знаний, полученных при изучении таких дисциплин, как «Теоретические основы электротехники», «Электрические машины», «Электропривод» и др.

В результате изучения необходимо знать:

- основные способы производства и распределения электрической энергии;
- основные принципы построения систем электроснабжения;
- показатели качества электрической энергии и способы их улучшения;
- пути и способы уменьшения потерь, экономии и учета электрической энергии;
- устройство, принцип действия и технические характеристики электрооборудования промышленных предприятий;
- общие принципы безаварийной эксплуатации систем электроснабжения.

В результате изучения дисциплины студент должен уметь:

- производить расчет и выбор различных устройств систем электроснабжения промышленных предприятий;
- проектировать системы электроснабжения;
- организовать техническое обслуживание электрооборудования.

1.2. Содержание проекта

Целью проекта «Электроснабжение и электрооборудование предприятий» является овладение практическими методиками проектирования систем электроснабжения, закрепление и расширение теоретических знаний, умение пользоваться справочными и нормативными материалами для самостоятельного решения комплекса инженерных задач при проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий.

Проект состоит из двух частей:

- 1) пояснительная записка;
- 2) графическая часть.

В пояснительной записке должно быть приведено обоснование принятых решений, представлены основные расчетные формулы и результаты расчетов. Объем пояснительной записки, как правило, не должен превы-

шать 40–50 листов формата А4 (210×297 мм). Текст пояснительной записки помещается внутри рамки, имеющей границы: слева – 20 мм, с остальных сторон листа – по 5 мм. Вдоль короткой стороны листа располагается основная надпись. Нумерация листов пояснительной записки сквозная, начиная с титульного листа.

Общими требованиями к пояснительной записке являются: логическая последовательность построения, краткость и точность используемых формулировок, безупречная грамотность, соответствие требованиям стандартов ЕСКД и другой нормативно-технической документации.

Пояснительная записка должна включать:

- титульный лист;
- содержание;
- введение;
- исходные данные для проектирования;
- основную часть;
- заключение;
- список использованной литературы.

В начале пояснительной записки обязательно должно быть приведено содержание, включающее в себя названия и номера начальных страниц всех разделов и подразделов, включая введение, заключение и список использованной литературы.

Во введении раскрывается цель курсового проекта и приводится его краткая характеристика.

В основной части должны быть отражены следующие вопросы:

- расчет электрических нагрузок;
- выбор числа и мощности цеховых трансформаторов;
- выбор схемы и способов прокладки цеховой электрической сети;
- выбор силового электрооборудования напряжением до 1 кВ;
- выбор сечений линий распределительной сети предприятия;
- выбор сечений линий цеховой электрической сети;
- выбор защитной аппаратуры;
- расчет токов короткого замыкания;
- выбор высоковольтной коммутационной аппаратуры.

Основная часть пояснительной записки разделяется на разделы и подразделы, каждый из которых должен начинаться с нового листа. В основной части должно быть приведено обоснование принятых решений и расчетные формулы с последующей подстановкой в них численных значений. Также должны быть указаны размерности величин, получаемых в результате расчетов. При значительном количестве однотипных расчетов следует привести пример расчета для одного подобного случая, а для остальных – только результаты расчетов, которые целесообразно предста-

вить в табличной форме.

В заключении приводятся результаты и выводы, полученные в ходе выполнения курсового проекта, формулируется их теоретическое и практическое значение.

В тексте пояснительной записки должны быть приведены ссылки на использованную литературу, а в конце пояснительной записки – список использованной литературы, на которую имеются ссылки в тексте, с указанием автора (авторов), названия, издательства и года издания. Список использованной литературы должен быть оформлен в соответствии с требованиями

ГОСТ 7.1-2003.

Графическая часть проекта состоит из одного чертежа, выполненного на листе формата А1 (594×841 мм). Оформление чертежей должно соответствовать требованиям стандартов ЕСКД. К выполнению графической части следует приступать только после полного выполнения расчетной части курсового проекта.

На чертеже слева должна располагаться принципиальная однолинейная электрическая схема электроснабжения промышленного предприятия. Справа необходимо представить план расположения электрооборудования и прокладки электрической сети цеха.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Принципиальная схема электроснабжения промышленного предприятия представлена на рис. 1.

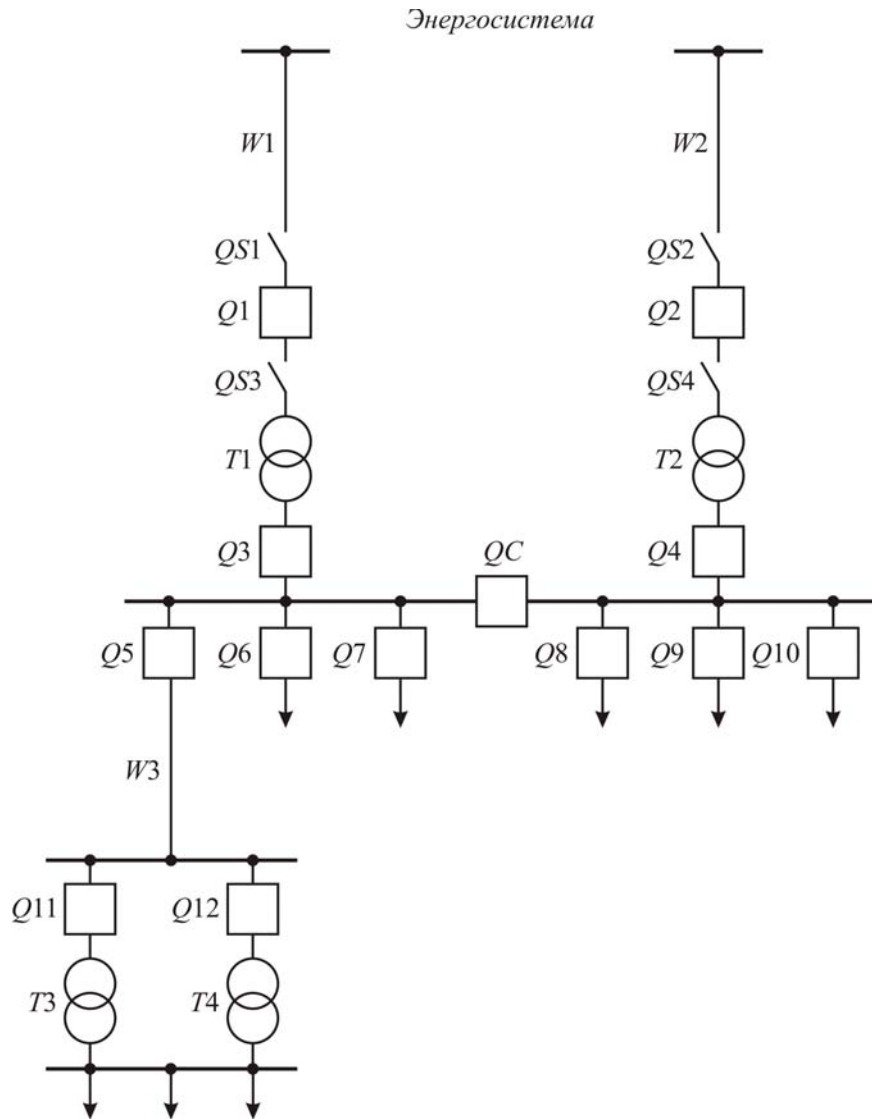


Рис. 1. Принципиальная схема электроснабжения промышленного предприятия

Исходные данные для проектирования приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные для проектирования

Номер варианта	Энергосистема			ГПП					Цех		
	Мощность S_c , МВА	Реактивное сопротивление x_c , Ом	Длина линий $W1, W2$, км	Вышее напряжение $U_{вн}$, кВ	Низшее напряжение $U_{нн}$, кВ	Номинальная мощность трансформатора $S_{ном.т}$, кВА	Средневзвешенный коэффициент мощности $\cos\varphi$	Коэффициент загрузки трансформатора β	Длина линии $W3$, км	Наименование цеха	Номер подварианта
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	100	0,5	5	35	6	4000	0,89	0,7	0,3	3	1
2	300	0,7	10	110	10	6300	0,85	0,67	0,1	5	2
3	200	0,8	4	35	10	4000	0,82	0,71	0,28	1	2
4	400	0,45	7	110	6	10000	0,83	0,74	0,15	2	3
5	250	0,4	3	35	6	4000	0,86	0,69	0,2	4	1
6	500	0,25	15	110	10	16000	0,88	0,72	0,09	1	3
7	150	0,6	6	35	6	6300	0,87	0,73	0,17	2	2
8	800	0,2	12	110	10	25000	0,89	0,7	0,25	5	1
9	350	0,75	8	35	10	10000	0,85	0,68	0,35	4	3
10	200	0,55	10	110	6	6300	0,81	0,77	0,11	3	2
11	100	0,8	3	35	6	4000	0,9	0,65	0,12	1	1
12	300	0,35	14	110	10	10000	0,84	0,71	0,21	4	2
13	250	0,6	7	35	10	6300	0,83	0,75	0,37	5	3
14	400	0,3	9	110	6	16000	0,88	0,69	0,23	2	1
15	150	0,7	4	35	6	4000	0,8	0,74	0,29	3	3
16	500	0,2	20	110	10	32000	0,86	0,73	0,14	2	1
17	200	0,5	5	35	10	6300	0,88	0,66	0,18	3	2
18	450	0,35	11	110	6	10000	0,87	0,68	0,26	4	1
19	300	0,55	6	35	6	4000	0,82	0,71	0,32	1	3
20	600	0,15	15	110	10	25000	0,89	0,69	0,27	5	3
21	100	0,75	2	35	10	16000	0,85	0,72	0,13	4	2
22	800	0,15	18	110	10	32000	0,81	0,65	0,24	2	2
23	250	0,3	3	35	6	6300	0,88	0,7	0,22	5	1
24	400	0,45	8	110	6	6300	0,84	0,67	0,19	3	1
25	300	0,25	10	35	10	10000	0,86	0,74	0,08	1	1

Примечание – В наименовании цеха (столбец 11): 1 – ремонтно-механический цех; 2 – электромеханический цех; 3 – механический цех; 4 – цех металлоизделий; 5 – цех металлорежущих станков

План расположения электрооборудования ремонтно-механического цеха представлен на рис. 2, электромеханического цеха – на рис. 3, механического цеха – на рис. 4, цеха металлоизделий – на рис. 5, цеха металлорежущих станков – на рис. 6.

Перечень электроприемников (ЭП) ремонтно-механического цеха приведен в табл. 3, электромеханического цеха – в табл. 4, механического цеха – в табл. 5, цеха металлоизделий – в табл. 6, цеха металлорежущих станков – в табл. 7.

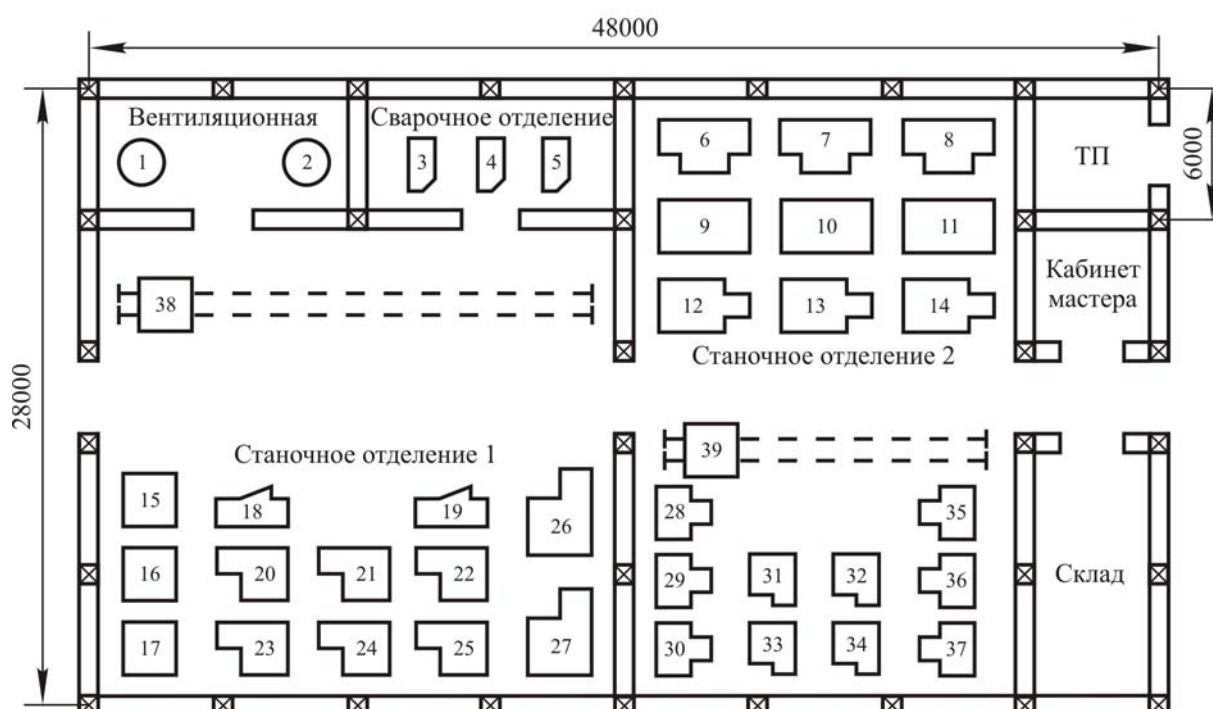


Рис. 2. План расположения электрооборудования ремонтно-механического цеха

Таблица 3

Перечень электроприемников ремонтно-механического цеха

Обозначение ЭП на плане цеха	Наименование ЭП	Номинальная мощность p_n , кВт			Примечание
		Подвариант			
		1	2	3	
1,2	Вентиляторы	55	48	30	
3 – 5	Сварочные агрегаты	14	10	12	ПВ = 40 %

6 – 8	Токарные автоматы	10	12	6	
9 – 11	Зубофрезерные станки	20	15	10	
12 – 14	Круглошлифовальные станки	5	4	6	
15 – 17	Заточные станки	1,5	3	2,5	1-фазные
18, 19	Сверлильные станки	3,4	3,2	2,2	1-фазные
20 – 25	Токарные станки	12	9	6	
26, 27	Плоскошлифовальные станки	17,2	8,5	10,5	
28 – 30	Строгальные станки	4,5	12,5	17,5	
31 – 34	Фрезерные станки	7,5	9,5	8,5	
35 – 37	Расточные станки	4	11,5	7,5	
38, 39	Краны мостовые	30	25	20	ПВ = 60 %

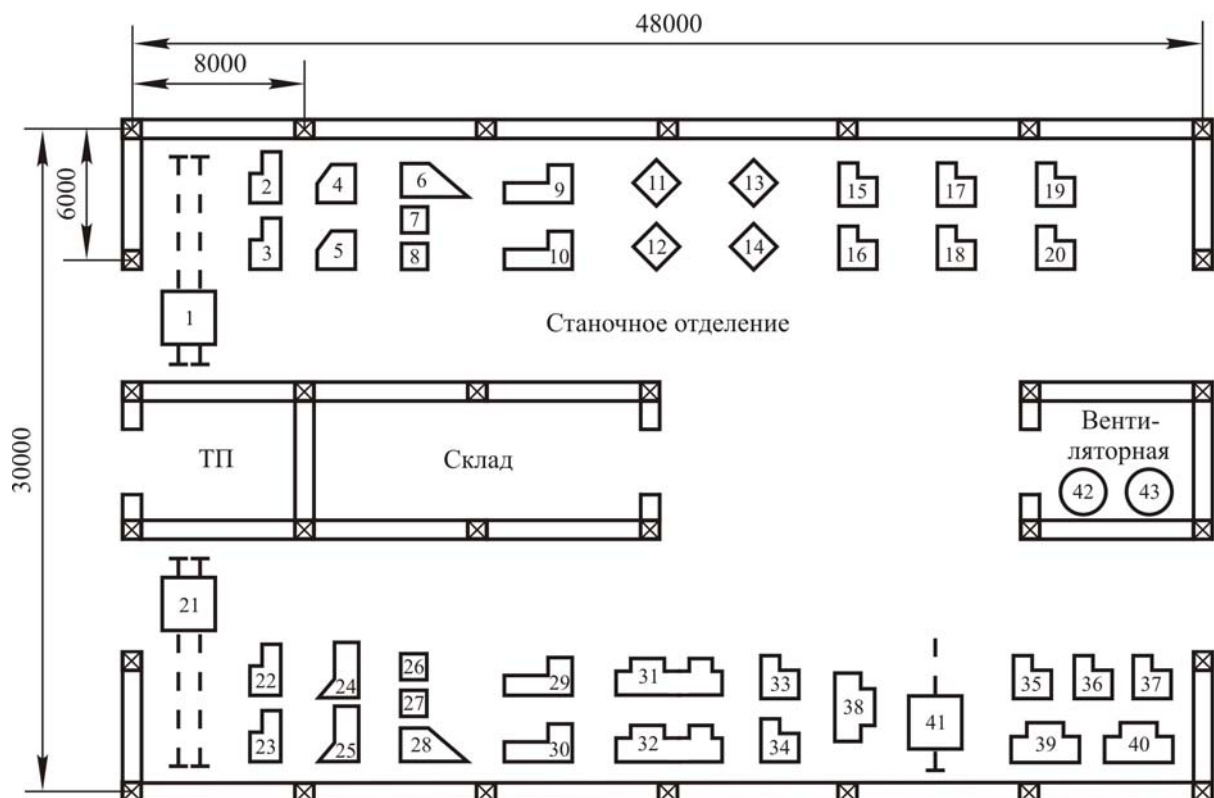


Рис. 3. План расположения электрооборудования
электромеханического цеха

Таблица 4

Перечень электроприемников электромеханического цеха

Обозначение ЭП на плане цеха	Наименование ЭП	Номинальная мощность p_n , кВт			Примечание
		Подвариант			
		1	2	3	
1, 21	Краны мостовые	36	25	30	ПВ = 25 %
2, 3, 22, 23	Манипуляторы электрические	3,2	3,5	2,8	
6, 28	Точильно-шлифовальные станки	2	1,8	2,2	1-фазные

7, 8, 26, 27	Настольно-сверлильные станки	2,2	2	1,5	1-фазные
9, 10, 29, 30	Токарные полуавтоматы	10	9,5	9,2	
11 – 14	Токарные станки	13	10,5	11	
15 – 20, 33 – 37	Слиткообдирочные станки	3	1,5	2	
24, 25	Горизонтально-фрезерные станки	7	7,5	5,5	
31, 32	Продольно-строгальные станки	10	9,5	7,5	
38 – 40	Анодно-механические станки	75	65	60	
41	Тельфер	5	5	5	
42, 43	Вентиляторы	4,5	4	6	

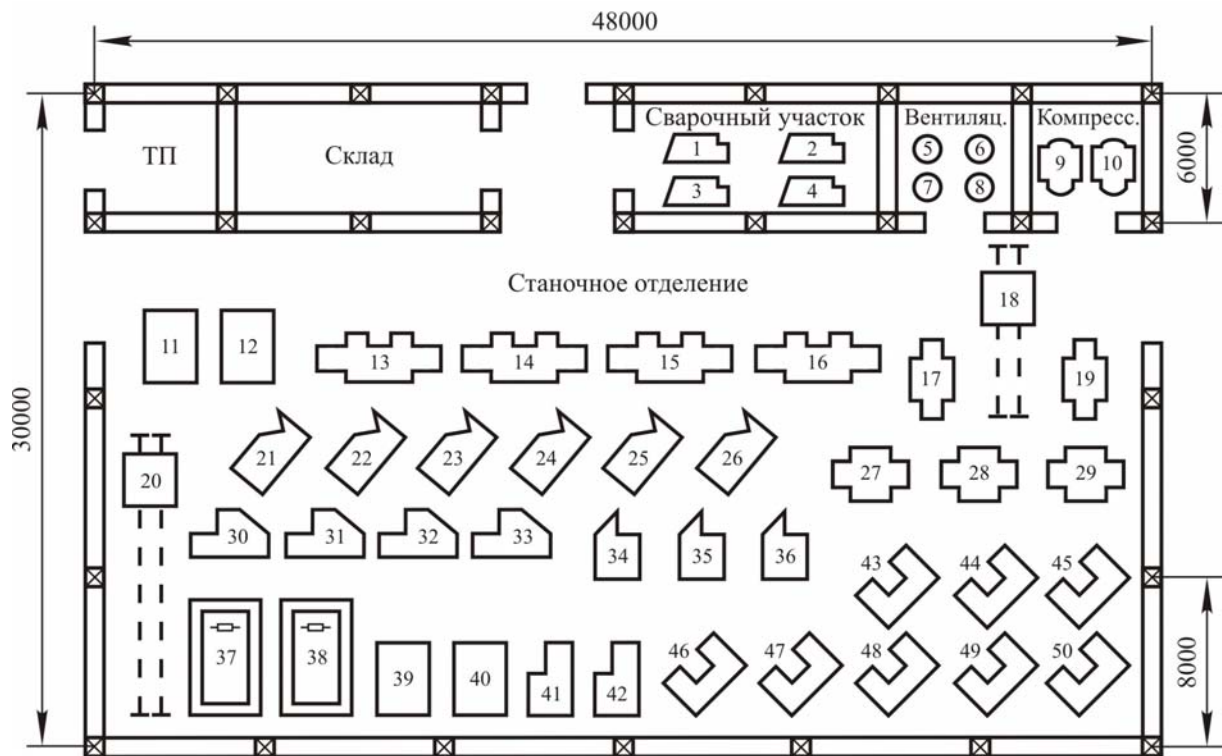


Рис. 4. План расположения электрооборудования
механического цеха

Таблица 5

Перечень электроприемников механического цеха

Обозначение ЭП на плане цеха	Наименование ЭП	Номинальная мощность p_n , кВт			Примечание
		Подвариант			
		1	2	3	
1 – 4	Сварочные автоматы	50	42	64	ПВ = 60 %
5 – 8	Вентиляторы	4,8	4,5	5	
9, 10	Компрессоры	30	50	40	
11, 12, 39, 40	Алмазно-расточные станки	2,5	2,8	3,2	
13 – 16	Горизонтально-расточные станки	25	18	15	
17, 19	Продольно-строгальные станки	40	30	20	
18	Кран-балка	15	10	12	ПВ = 60 %

20	Мостовой кран	55	45	60	ПВ = 40 %
21 – 26	Расточные станки	14	10	15	
27 – 29	Поперечно-строгальные станки	10	7,5	8,8	
30 – 33	Радиально-сверлильные станки	3	5	7	1-фазные
34 – 36	Вертикально-сверлильные станки	4	3	2,5	1-фазные
37, 38	Электроды сопротивления	32	42	45	
41, 42	Заточные станки	1,5	2,5	2,2	1-фазные
43 – 50	Токарно-револьверные станки	4,5	12,5	8,8	

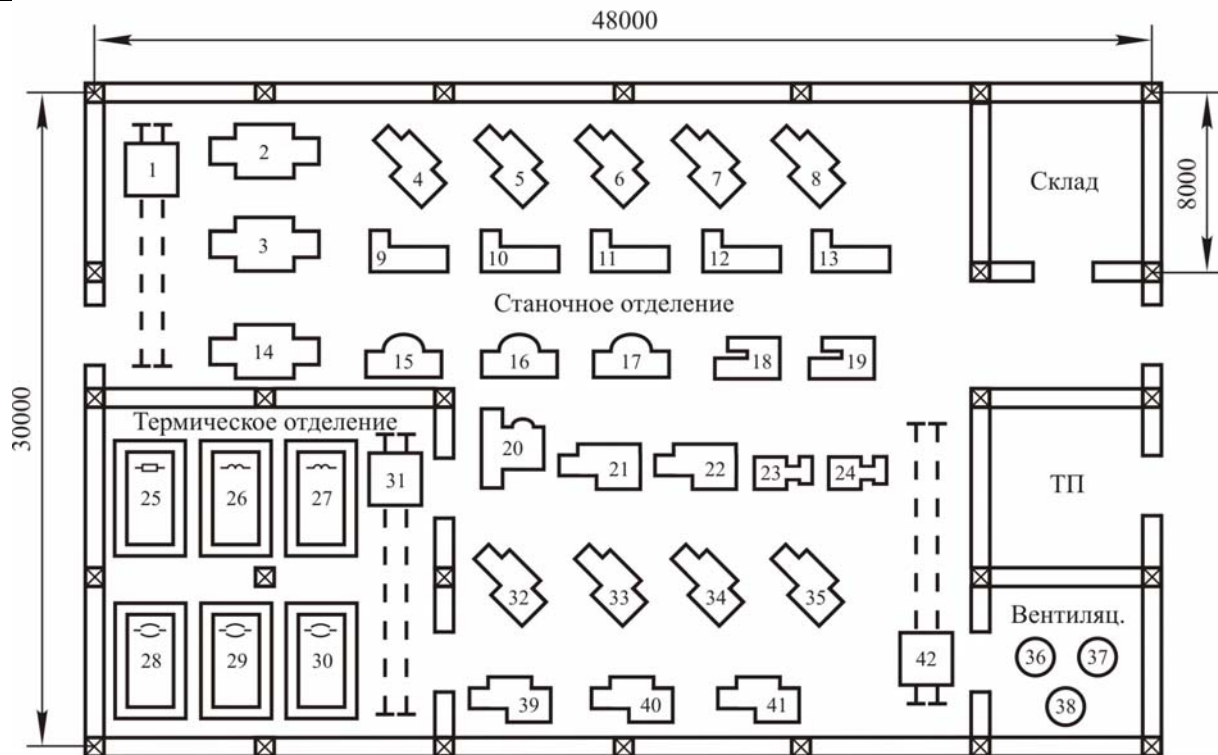


Рис. 5. План расположения электрооборудования
цеха металлоизделий

Таблица 6

Перечень электроприемников цеха металлоизделий

Обозначение ЭП на плане цеха	Наименование ЭП	Номинальная мощность p_n , кВт			Примечание
		Подвариант			
		1	2	3	
1, 31, 42	Краны мостовые	25	30	45	ПВ = 25 %
2, 3, 14	Продольно-строгальные станки	12,2	14	16,2	
15 – 17	Плоскошлифовальные станки	3	4,5	5	1-фазные
4 – 8, 32 – 35, 39 – 41	Токарно-револьверные станки	3,5	8,5	12,5	
9 – 13	Токарные станки	15	12	17	
18, 19	Вертикально-сверлильные станки	2,5	3	2,8	1-фазные
20	Расточной станок	13	9,5	8	

21, 22	Фрезерные станки	3,8	4,8	4,2	
23, 24	Радиально-сверлильные станки	9,5	12,2	15	
25	Электродуга сопротивления	60	45	30	
26, 27	Электродуга индукционные	24	28	32	
28 – 30	Электродуга печи	50	55	48	
36 – 38	Вентиляторы	5	4,5	5,5	

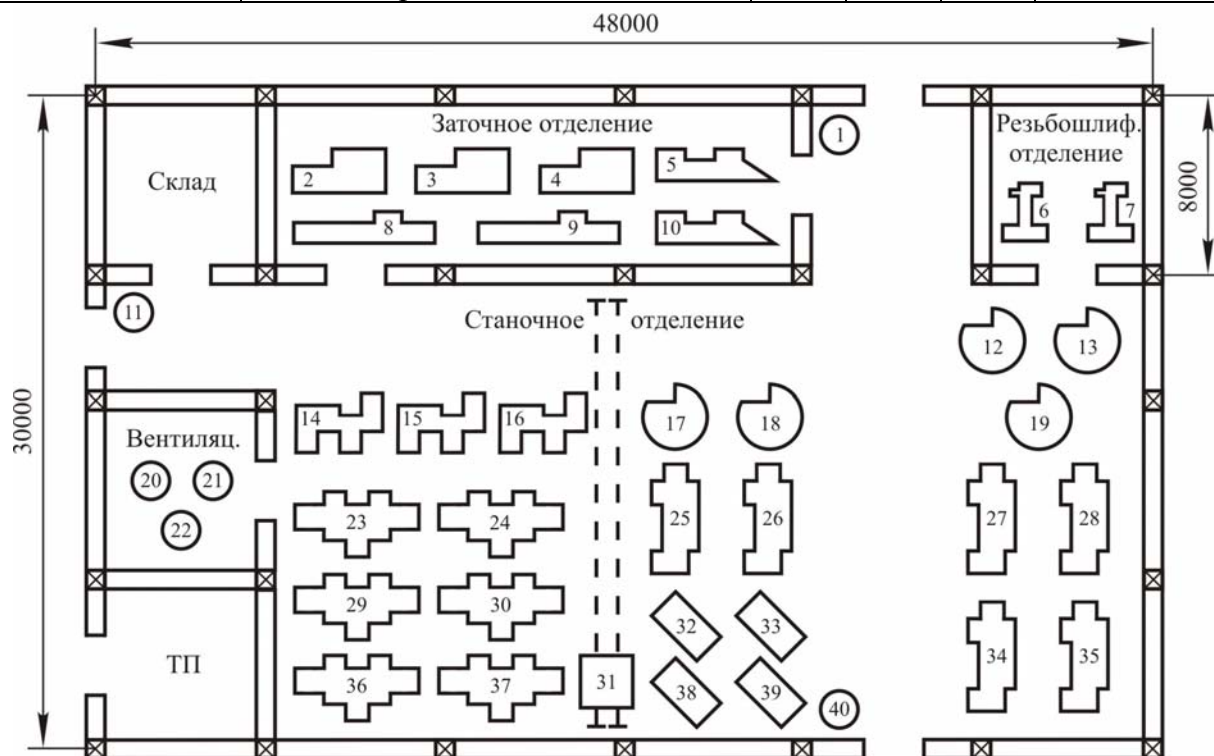


Рис. 6. План расположения электрооборудования
цеха металлорежущих станков

Таблица 7

Перечень электроприемников цеха металлорежущих станков

Обозначение ЭП на плане цеха	Наименование ЭП	Номинальная мощность p_n , кВт			Примечание
		Подвариант			
		1	2	3	
1	2	3	4	5	6
1, 11, 40	Электропривод раздвижных ворот	3,5	4	4,5	1-фазные ПВ = 25 %
2 – 4	Универсальные заточные станки	2,5	3,5	2,8	1-фазные
5, 10	Заточные станки для фрез	7	8	8,2	
6, 7	Резьбошлифовальные станки	4,8	5,2	6,4	
8, 9	Заточные станки для фрезерных головок	3	3,2	4,2	
12, 13, 17 – 19	Круглошлифовальные станки	10,2	9,6	10	
14 – 16	Токарные станки	6,5	8,5	7,8	
20 – 22	Вентиляторы	4	4,5	5	

23, 24, 29, 30, 36, 37	Плоскошлифовальные станки	38	28	18,5	
25 – 28, 34, 35	Внутришлифовальные станки	8,5	10,4	12	
31	Кран-балка	10	12	15	ПВ = 40 %
32, 33, 38, 39	Заточные станки	2,5	2,8	3,2	

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ

3.1. Расчет электрических нагрузок

Электрической нагрузкой согласно ГОСТ 19431-84 называется значение мощности, потребляемой электроустановкой в установленный момент времени. Определение электрических нагрузок является первым этапом проектирования любой системы электроснабжения, т. к. величина электрических нагрузок оказывает существенное влияние на выбор элементов и технико-экономические показатели проектируемой системы электроснабжения.

Перед расчетом электрических нагрузок необходимо привести основные характеристики электроприемников цеха в соответствии с табл. 8.

Таблица 8

Характеристики электроприемников цеха

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

Номинальные токи электроприемников определяются по формулам:

1) для трехфазных электродвигателей

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

2) для остальных трехфазных электроприемников

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n \cos\varphi}; \quad (2)$$

3) для однофазных электродвигателей, включенных на фазное напряжение

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

4) для однофазных электродвигателей, включенных на линейное напряжение

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

5) для остальных однофазных электроприемников, включенных на фазное напряжение

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

6) для остальных однофазных электроприемников, включенных на линейное напряжение

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

где $P_{\text{н}}$ – номинальная мощность электроприемника, кВт; $U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение электроприемника, В; $U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение, В; η – КПД электроприемника; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности электроприемника.

В практике проектирования систем электроснабжения применяют различные методы определения электрических нагрузок, которые подразделяются на основные и дополнительные.

К основным следует отнести методы определения электрических нагрузок:

- по установленной мощности и коэффициенту спроса (метод коэффициента спроса);
- по средней мощности и отклонению расчетной нагрузки от средней (статистический метод);
- по средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузки;

– по средней мощности и коэффициенту расчетной мощности (метод коэффициента расчетной активной мощности).

К вспомогательным можно отнести методы определения электрических нагрузок:

– по удельному расходу электроэнергии на единицу выпускаемой продукции;

– по удельной нагрузке на единицу производственной площади.

С 1993 г. основным и обязательным нормативным документом по определению электрических нагрузок промышленных предприятий является РТМ 36.18.32.4-92 [1], который устанавливает порядок расчета электрических нагрузок по методу коэффициента расчетной активной мощности.

Расчетная 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.

Коэффициент расчетной мощности K_p – это отношение расчетной активной мощности P_p к значению $K_{и}P_{н}$ группы электроприемников:

$$K_p = \frac{P_p}{K_{и}P_{н}}. \quad (7)$$

Расчет электрических нагрузок электроприемников напряжением до 1 кВ выполняется по форме Ф636-92 (табл. 9) и производится для каждого узла питания (распределительного пункта, распределительного или магистрального шинопровода, цеховой трансформаторной подстанции), а также по цеху, корпусу в целом.

Исходные данные для расчета (графы 1 – 6) заполняются на основании полученного задания на проектирование (графы 1 – 4) и согласно справочным материалам (графы 5, 6). Все электроприемники группируются по характерным категориям с одинаковыми коэффициентами использования $K_{и}$ и реактивной мощности $\operatorname{tg}\varphi$ ($\cos\varphi$). Значения коэффициентов использования $K_{и}$ и реактивной мощности $\operatorname{tg}\varphi$ ($\cos\varphi$) для характерных групп электроприемников приведены в [табл. П1](#). При наличии в справочных материалах интервальных значений $K_{и}$ следует для расчета принимать наибольшее значение. В каждой строке указываются электроприемники одинаковой мощности. При этом резервные электроприемники в расчете не учитываются, а номинальная мощность электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы не приводится к длительному режиму ($P_{ДВ} = 100\%$).

Таблица 9

Расчет электрических нагрузок (форма Ф636-92)

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

* Резервные электроприемники, а также электроприемники, работающие кратковременно, в расчете не учитываются.

** При расчете электрических нагрузок для магистральных шинопроводов, на шинах цеховых трансформаторных подстанций, в целом по цеху, корпусу, предприятию: допускается определять n_3 по выражению

$$n_3 = 2 \sum P_n / p_{\text{н. макс}},$$

расчетная реактивная мощность принимается равной

$$Q_p = K_p K_n P_n \text{tg}\varphi = P_p \text{tg}\varphi.$$

При определении расчетной нагрузки цеха или другого узла питания следует учитывать наличие однофазных электроприемников.

При включении однофазного электроприемника на фазное напряжение он учитывается в графе 2 как эквивалентный трехфазный электроприемник номинальной мощностью

$$p_{\text{н}} = 3p_{\text{н.о}}; \quad q_{\text{н}} = 3q_{\text{н.о}}, \quad (8)$$

где $p_{\text{н.о}}$ – номинальная активная мощность однофазного электроприемника, кВт; $q_{\text{н.о}}$ – номинальная реактивная мощность однофазного электроприемника, кВАр.

При включении однофазного электроприемника на линейное напряжение он учитывается как эквивалентный электроприемник номинальной мощностью

$$p_{\text{н}} = \sqrt{3}p_{\text{н.о}}; \quad q_{\text{н}} = \sqrt{3}q_{\text{н.о}}. \quad (9)$$

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

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

$$\begin{aligned} P_{\text{н.о}(A)} &= \sum p_{\text{н.о}(A)}; \\ P_{\text{н.о}(B)} &= \sum p_{\text{н.о}(B)}; \\ P_{\text{н.о}(C)} &= \sum p_{\text{н.о}(C)}; \end{aligned} \quad (10)$$

- 3) определяется общая нагрузка каждой фазы от однофазных и трехфазных электроприемников:

$$\begin{aligned} P_{\text{н}(A)} &= P_{\text{н.о}(A)} + \frac{\sum P_{\text{н}(3)}}{3}; \\ P_{\text{н}(B)} &= P_{\text{н.о}(B)} + \frac{\sum P_{\text{н}(3)}}{3}; \\ P_{\text{н}(C)} &= P_{\text{н.о}(C)} + \frac{\sum P_{\text{н}(3)}}{3}, \end{aligned} \quad (11)$$

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

4) определяется неравномерность загрузки фаз по формуле:

$$\Delta P_{нр} = \frac{P_{н.маx} - P_{н.мин}}{P_{н.мин}} \cdot 100, \quad (12)$$

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

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

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

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

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

$$K_{и.гр} = \frac{\sum K_{и}P_{н}}{\sum P_{н}}. \quad (13)$$

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

Для последующего определения эффективного числа электроприемников n , в графе 9 построчно определяются для каждой характерной группы электроприемников одинаковой мощности величины $np_{н}^2$ и в итоговой строке – их суммарное значение $\sum np_{н}^2$.

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

Эффективное число электроприемников определяется по формуле:

$$n_3 = \frac{(\sum P_n)^2}{\sum np_n}. \quad (14)$$

Найденное по формуле (14) значение n_3 округляется до ближайшего меньшего целого числа.

В зависимости от средневзвешенного коэффициента использования, эффективного числа электроприемников и постоянной времени нагрева сети определяется и заносится в графу 11 коэффициент расчетной нагрузки K_p .

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](#).

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

$$P_p = K_p \sum K_n P_n. \quad (15)$$

Расчетная реактивная мощность подключенных к узлу питания электроприемников напряжением до 1 кВ (графа 13) определяется следующим образом. Для питающих сетей напряжением до 1 кВ в зависимости от n_3 :

$$\text{при } n_3 \leq 10 \quad Q_p = 1,1 \sum K_n P_n \operatorname{tg} \varphi; \quad (16)$$

$$\text{при } n_3 > 10 \quad Q_p = \sum K_n P_n \operatorname{tg} \varphi. \quad (17)$$

Расчетная реактивная мощность для магистральных шинопроводов и на шинах цеховых трансформаторных подстанций независимо от n_3 определяется по формуле:

$$Q_p = K_p \sum K_n P_n \operatorname{tg} \varphi. \quad (18)$$

Полная расчетная мощность (графа 14) определяется по формуле:

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

К расчетной активной и реактивной мощности силовых электроприемников напряжением до 1 кВ при необходимости должны быть добавлены осветительные нагрузки $P_{p.o}$ и $Q_{p.o}$. Тогда полная расчетная мощность составит:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2}. \quad (20)$$

При отсутствии конкретных данных осветительная нагрузка цеха приближенно может быть принята равной 5 % от силовой.

Расчетный ток (графа 15) определяется по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n}. \quad (21)$$

3.2. 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 электроприемников по надежности электроснабжения, а также графиком нагрузки цеха.

По числу трансформаторов все КТП подразделяются на однотрансформаторные, двухтрансформаторные и трехтрансформаторные.

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

Для электроприемников первой и второй категорий по надежности электроснабжения, требующих резервирования питания, как правило, используются двухтрансформаторные подстанции. При питании преимущественно электроприемников первой категории на стороне низшего напряжения подстанции предусматривается устройство автоматического включения резерва (АВР), срабатывающее при аварийном отключении одного из трансформаторов. При питании электроприемников 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. 7 приведена принципиальная схема двухтрансформаторной подстанции.

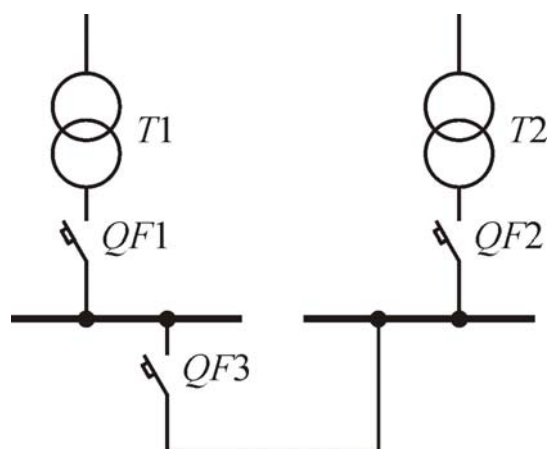


Рис. 7. Схема двухтрансформаторной подстанции:

$QF1$, $QF2$ – вводные автоматические выключатели; $T1$, $T2$ – силовые трансформаторы; $QF3$ – секционный автоматический выключатель

Трехтрансформаторные подстанции используются при необходимости отдельного питания силовой и осветительной нагрузок цеха, при наличии мощных электроприемников, требующих блочного питания, а также в том случае, если полная расчетная мощность цеха превышает нагрузочную способность двухтрансформаторной подстанции с двумя трансформаторами номинальной мощностью 2500 кВА.

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

Номинальная мощность силовых трансформаторов определяется по условию:

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{S_p}{NK_3}, \quad (22)$$

где S_p – полная расчетная мощность цеха, кВА; N – количество трансформаторов; K_3 – коэффициент загрузки трансформатора.

В проектной практике для двухтрансформаторных цеховых подстанций при преобладании потребителей первой категории коэффициент загрузки трансформаторов K_3 принимается в пределах 0,6–0,7, при преоб-

ладании потребителей второй категории – 0,7–0,8, а при преобладании потребителей третьей категории – 1.

Выбор типа силовых трансформаторов осуществляется в зависимости от условий окружающей среды [2]. Для внутренней установки преимущественно рекомендуется применение масляных трансформаторов, но с ограничениями по числу и мощности. Для внутрицеховых подстанций с сухими трансформаторами или с трансформаторами, заполненными негорючим жидким (твердым) диэлектриком, мощность трансформаторов, их число, расстояние между ними, этаж, на котором они могут быть установлены, не ограничиваются. Трансформаторы с охлаждением негорючим жидким диэлектриком целесообразно применять в тех производственных помещениях, где по условиям среды, числу трансформаторов, значению мощности и этажности нельзя применять масляные трансформаторы.

Технические данные силовых трансформаторов приведены в [табл. П4](#).

В пояснительной записке следует указать тип выбранного трансформатора и привести его технические характеристики.

Затем необходимо определить потери напряжения во вторичных обмотках цеховых трансформаторов по формуле:

$$\Delta U_T = \beta (U_{ка} \cos \varphi_{ср} + U_{кр} \sin \varphi_{ср}), \quad (23)$$

где β – коэффициент загрузки трансформатора по полной мощности; $U_{ка}$, $U_{кр}$ – соответственно активная и индуктивная составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора, %; $\cos \varphi_{ср}$ – средневзвешенный коэффициент мощности трансформатора.

Коэффициент загрузки трансформатора по полной мощности определяется по формуле:

$$\beta = \frac{S_{р.т}}{S_{ном.т}}, \quad (24)$$

где $S_{р.т}$ – расчетная нагрузка силового трансформатора, кВА.

Активная и индуктивная составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора определяются по формулам:

$$U_{ка} = \frac{P_k}{S_{ном.т}} \cdot 100, \quad (25)$$

$$U_{кр} = \sqrt{U_k^2 - U_{ка}^2}, \quad (26)$$

где P_k – мощность потерь короткого замыкания, кВт; U_k – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

3.3. 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 электроприемникам, – распределительную сеть.

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

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

При радиальной схеме питание отдельных электроприемников большой мощности или группы электроприемников, 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. 8) и двухступенчатыми, когда питание осуществляется от промежуточного распределительного пункта (РП5, РП6 на рис. 8).

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 электроприемников во взрывоопасных, пожароопасных и пыльных помещениях, где применение магистральных схем не представляется возможным. Радиальные схемы выполняются кабелями.

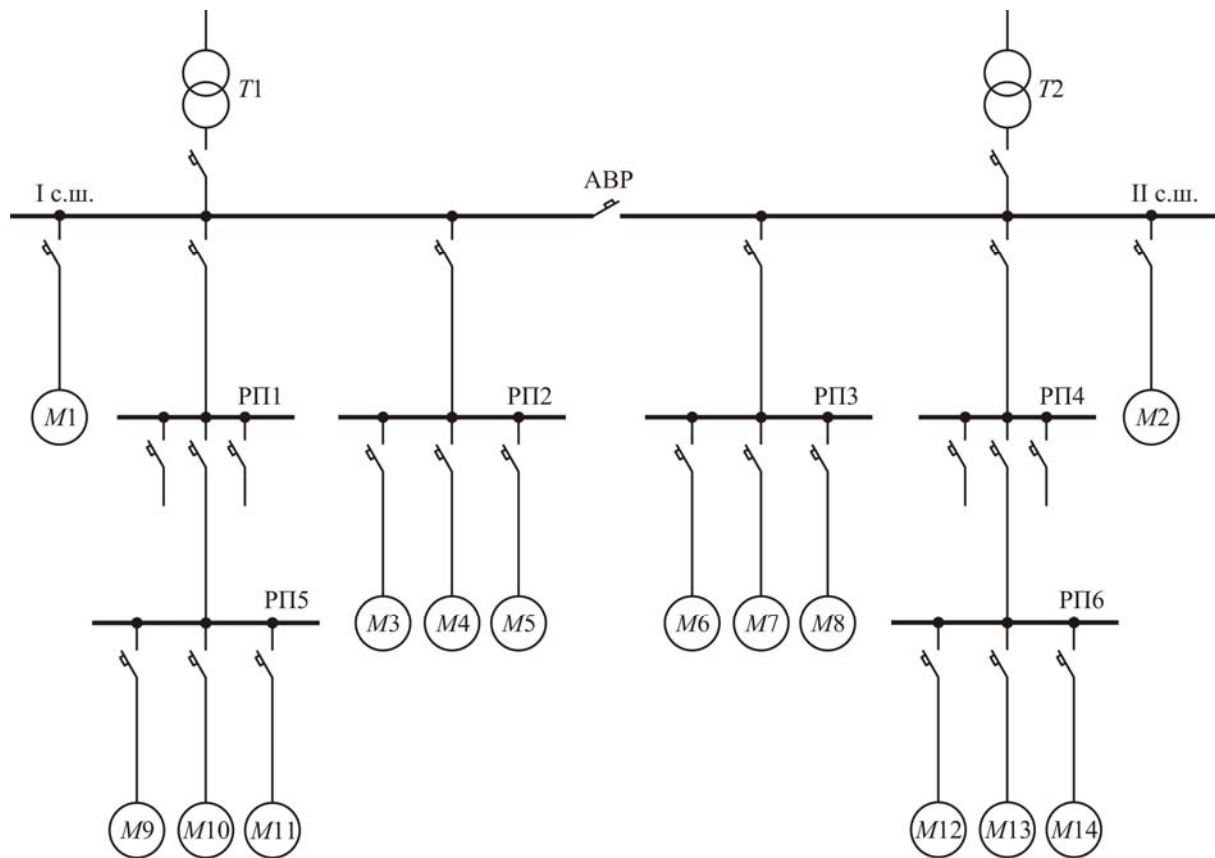


Рис. 8. Радиальная схема цеховой электрической сети

К достоинствам радиальных схем относятся высокая надежность и удобство автоматизации, поэтому они рекомендуются для питания электроприемников первой категории по надежности 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.

При магистральной схеме распределение электрической энергии от цеховых трансформаторных подстанций к отдельным узлам нагрузки и мощным электроприемникам осуществляется по отдельным линиям.

Подключение магистрали к сборным шинам распределительного устройства КТП осуществляется через линейные автоматические выключатели (рис. 9) или без коммутационного аппарата, т. е. наглухо (рис. 10).

Магистральные схемы рекомендуется применять в энергоемких 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, шинпроводами.

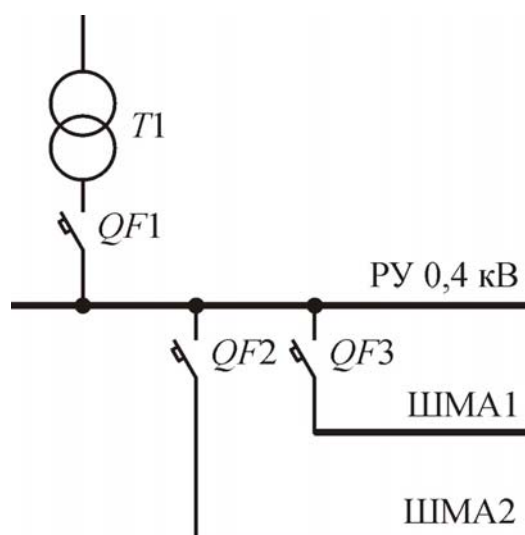


Рис. 9. Схема подключения магистралей к КТП через автоматические выключатели отходящих линий

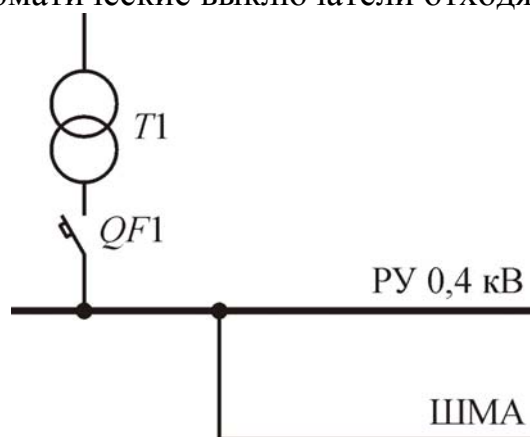


Рис. 10. Схема блока трансформатор – магистраль

Магистральи выполняются неизолированными шинами или комплектными шинпроводами типа ШМА. Для распределения электроэнергии используются комплектные шинпровода типа ШРА. Электроприемники подключаются к шинпроводам ШРА через ответвительные коробки с помощью кабелей. При глухом присоединении магистральи к трансформатору (блок трансформатор – магистраль) схемы отличаются простотой, надежностью

и экономичностью. Схемы блоков трансформатор – магистраль применяются, как правило, с числом отходящих от КТП магистралей, не превышающим числа установленных трансформаторов.

Магистральные схемы, выполненные шинпроводами, относятся к высоконадежным элементам системы электроснабжения. Они применяются для питания электроприемников любой категории по надежности электроснабжения. Если требуется резервирование питания, то приме-

няются двухтрансформаторные подстанции с установкой АВР на секционном выключателе (рис. 11).

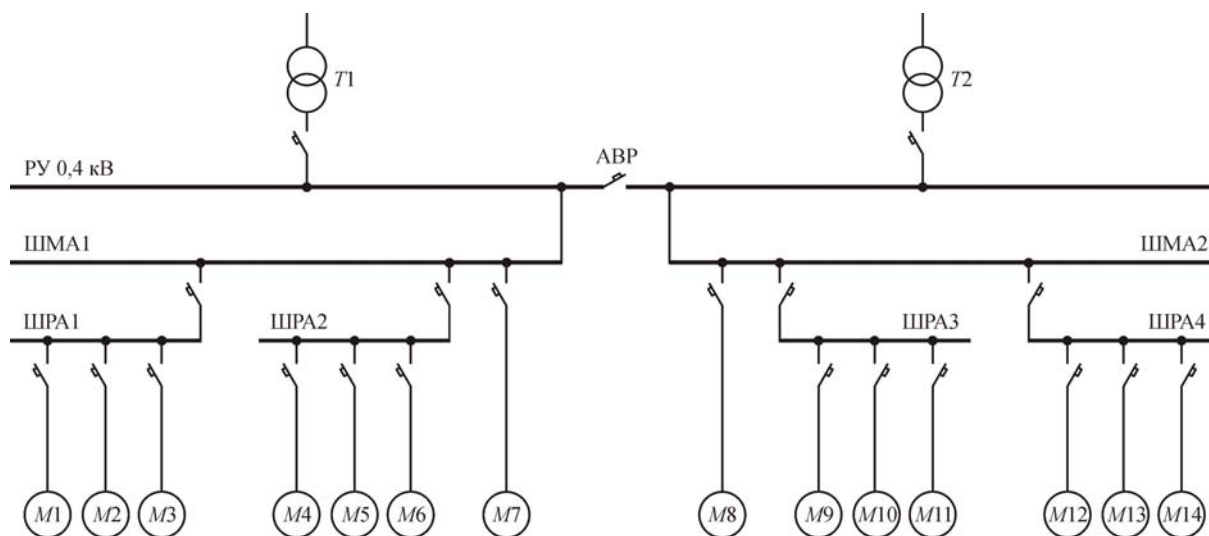


Рис. 11. Схема подключения магистралей к двухтрансформаторной подстанции

Магистральные схемы, выполненные шинопроводами, прокладывают в зонах, где их повреждение технологическим транспортом или перемещаемыми механизмами является маловероятным.

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 [2].

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 (полипропилено-

вых, 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.

Шинопроводы могут быть открытыми и защищенными 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.

Защищенные шинопроводы по сравнению с открытыми обладают следующими преимуществами: высокая технологическая готовность, небольшие габариты, высокая надежность при эксплуатации.

Шинопроводы прокладывают горизонтально по напольным стойкам, по стенам и колоннам на кронштейнах, по строительным фермам и на тросах.

В пояснительной записке необходимо привести результаты выбора схемы и способов прокладки цеховой электрической сети с обоснованием принятых решений.

3.4. Выбор силового электрооборудования напряжением до 1 кВ

Цеховые электроприемники могут питаться либо от шин КТП непосредственно, либо через силовые распределительные пункты в зависимости от величины их номинальной мощности (номинального тока). Линейные панели РУНН КТП комплектуются автоматическими выключателями с номинальным током $I_{\text{на}} \geq 250 \text{ А}$, снабженными тепловыми расцепителями с номинальным током $I_{\text{нтр}} \geq 100 \text{ А}$. Силовые распределительные пункты комплектуются автоматическими выключателями с номинальным током $I_{\text{на}} \leq 250 \text{ А}$ и номинальным током теплового расцепителя $I_{\text{нтр}} \leq 250 \text{ А}$. В связи с этим мощные электроприемники с номинальным током $I_{\text{н}} > 250 \text{ А}$ могут питаться только от шин КТП непосредственно, электроприемники с $I_{\text{н}} \leq 80 \text{ А}$ – только через распределительные пункты, а электроприемники с номинальным током $80 < I_{\text{н}} \leq 250 \text{ А}$ могут питаться либо от шин КТП непосредственно, либо через силовые распределительные пункты.

Электроприемники 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 расчетной активной мощности, и результаты расчета сводятся в таблицу, аналогичную табл. 9.

Кроме того, при выборе двухтрансформаторной КТП необходимо определить нагрузку секций сборных шин, распределив электроприемники цеха между цеховыми трансформаторами. Расчет электрических нагрузок секций сборных шин также производится в табличной форме по методу коэффициента расчетной активной мощности.

3.4.1. Выбор комплектных шинопроводов

Магистральные и распределительные шинопроводы выбираются по условию длительного нагрева максимальным рабочим (расчетным) 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 (расчетным) током производится по условию:

$$I_p \leq I_n, \quad (27)$$

где I_p – расчетный ток нагрузки, А; I_n – номинальный ток шинопровода, А.

Потери напряжения в шинопроводе определяются по формуле:

$$\Delta U_{\text{ш}} = \frac{\sqrt{3} \sum_{i=1}^n I_{pi} l_i \cdot 100}{U_n} (r_0 \cos \varphi_{\text{ср}} + x_0 \sin \varphi_{\text{ср}}), \quad (28)$$

где $\sum_{i=1}^n I_{pi} l_i$ – сумма моментов токовых нагрузок шинопровода, А·м; I_{pi} – расчетный ток i -й нагрузки, А; l_i – длина шинопровода от ввода до точки подключения i -й нагрузки, км; U_n – номинальное напряжение шинопровода, В; r_0 , x_0 – удельные активное и индуктивное сопротивления шинопровода соответственно, Ом/км; $\cos \varphi_{\text{ср}}$ – средневзвешенный коэффициент мощности.

Потери напряжения в шинопроводе приближенно могут быть определены по формуле:

$$\Delta U_{\text{ш}} = \frac{\Delta U_{\text{л.ш}} l_{\text{ш}}}{U_n}, \quad (29)$$

где $\Delta U_{л.ш}$ – линейная потеря напряжения на 100 м шинопровода, В; $l_{ш}$ – длина шинопровода от ввода до точки подключения нагрузки, м.

Шинопроводы проверяются на термическую стойкость по условию:

$$I_k^{(3)} \leq i_{т.с}, \quad (30)$$

где $I_k^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ в начале шинопровода, кА; $i_{т.с}$ – ток термической стойкости шинопровода, кА.

Проверка шинопроводов на электродинамическую стойкость производится по условию:

$$i_y \leq i_{у.доп}, \quad (31)$$

где i_y – ударный ток КЗ в начале шинопровода, кА; $i_{у.доп}$ – допустимый ударный ток КЗ (ток электродинамической стойкости) шинопровода, кА.

Технические характеристики магистральных шинопроводов серии ШМА приведены в [табл. П5](#), распределительных шинопроводов серии ШРА – в [табл. П6](#).

3.4.2. Выбор силовых распределительных пунктов

Для приема и распределения электрической энергии по группам электроприемников трехфазного переменного тока промышленной частоты напряжением 380 В применяются силовые распределительные пункты.

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 расчетный ток группы электроприемников I_p :

$$I_p \leq I_n, \quad (32)$$

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:

$$N_{прис} \leq N_{л}, \quad (33)$$

$$I_{\text{р.прис}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (34)$$

где $N_{\text{прис}}$ – число присоединений к распределительному пункту; $N_{\text{л}}$ – число отходящих линий; $I_{\text{р.прис}}$ – максимальный рабочий (расчетный) 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. П7](#), силовых распределительных пунктов серии ПР8503 – в [табл. П8](#).

3.5. Выбор сечений линий распределительной сети предприятия

Выбор сечений линий распределительной сети предприятия производится в зависимости от технических и экономических факторов.

К техническим факторам, влияющим на выбор сечений, относятся:

- нагрев длительно протекающим максимальным рабочим (расчетным) током;
- потеря напряжения в линии;
- механическая прочность;
- термическая стойкость к токам КЗ.

При выборе сечений по техническим условиям принимаются следующие условные обозначения: $S_{\text{н}}$ – минимально допустимое сечение по нагреву длительно протекающим максимальным рабочим (расчетным) током; $S_{\Delta U}$ – минимально допустимое сечение по потере напряжения; $S_{\text{м}}$ – минимально допустимое сечение по механической прочности; $S_{\text{т.с}}$ – минимально допустимое сечение по термической стойкости к токам КЗ.

Экономическим фактором, влияющим на выбор сечений, является экономическая плотность тока.

3.5.1. Выбор сечений по допустимому нагреву

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

$$I_p \leq K_T K_{\Pi} I_{\text{доп}}, \quad (35)$$

где I_p – максимальный рабочий (расчетный) 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.

Расчетный ток определяется по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n}, \quad (36)$$

где S_p – расчетная нагрузка, кВА; U_n – номинальное напряжение линии, кВ.

Длительно допустимые токи кабелей установлены в [2] и в каталогах заводов-изготовителей.

В [табл. П9](#) и [П10](#) приведены значения длительно допустимых токов для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией, в [табл. П11](#) – для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Длительно допустимые токи кабелей рассчитаны для температуры окружающей среды 15 °С – при прокладке в земле и 25 °С – при прокладке на воздухе при следующей допустимой температуре жил кабеля:

Номинальное напряжение, кВ	До 3	6	10	20 и 35
Допустимая температура жил, °С	+80	+65	+60	+50

Для кабелей, проложенных в среде, температура которой существенно отличается от указанной выше, следует применять поправочный коэффициент K_T , приведенный в табл. 10.

Таблица 10

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

Условная температура среды, °С	Нормированная температура жил, °С	Поправочные коэффициенты на токи при расчетной температуре среды, °С											
		-5 и ниже	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68
25	80	1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
25	70	1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
15	65	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
25	65	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
15	60	1,20	1,15	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57	0,47
25	60	1,36	1,31	1,25	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,66	0,54
15	55	1,22	1,17	1,12	1,07	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50	0,36

25	55	1,41	1,35	1,29	1,23	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
15	50	1,25	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,84	0,76	0,66	0,54	0,37	–
25	50	1,48	1,41	1,34	1,26	1,18	1,09	1,00	0,89	0,78	0,63	0,45	–

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. 11. При этом не должны учитываться резервные кабели.

Таблица 11

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 $S_{\text{н}}$ выбирается ближайшее большее сечение.

3.5.2. Проверка сечений по потере напряжения

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

Проверка сечений по потере напряжения производится по условию: нормальной

$$\Delta U_{\Sigma} = \Delta U_{\text{т}} + \Delta U_{\text{л}} \leq \Delta U_{\text{доп}}, \quad (37)$$

где $\Delta U_{\text{т}}$ – потери напряжения в силовом трансформаторе, %; $\Delta U_{\text{л}}$ – потери напряжения в линии, %; $\Delta U_{\text{доп}}$ – допустимые потери напряжения, % (принимаются равными 5 %).

Потери напряжения в линии определяются по формуле:

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} I_{\text{р}} l \cdot 100}{U_{\text{н}}} (r_0 \cos \varphi_{\text{ср}} + x_0 \sin \varphi_{\text{ср}}), \quad (38)$$

где $I_{\text{р}}$ – расчетный 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. П12); $\cos\varphi_{\text{ср}}$ – средневзвешенный коэффициент мощности.

В пояснительной записке следует указать величину сечения $S_{\Delta U}$, выбранного в результате проверки по потере напряжения.

3.5.3. Выбор сечений по механической прочности

Механическая прочность жил кабелей определяется механической нагрузкой на жилы и оболочку от полной собственной массы кабелей при их прокладке. Механическая нагрузка определяет минимально допустимое сечение жил кабелей при их изготовлении для каждого уровня напряжения. Поэтому в [2] и в каталогах заводов-изготовителей сечение жил кабелей для каждого уровня напряжения начинается с минимально допустимого по механической прочности.

В пояснительной записке необходимо привести величину сечения S_m , выбранного по механической прочности.

3.5.4. Проверка сечений по термической стойкости

Для выбора термически стойкого сечения необходимо знать значение установившегося тока КЗ из соответствующего расчета и возможное время прохождения этого тока через кабель.

Термически стойкое сечение определяется по формуле:

$$S_{\text{т.с}} = \alpha I_{\text{к}}^{(3)} \sqrt{t_{\text{п}}}, \quad (39)$$

где α – расчетный коэффициент, определяемый ограничением допустимой температуры нагрева жил кабеля, $\text{мм}^2/(\text{кА} \cdot \text{с}^{1/2})$ (принимается равным $\alpha = 7 \text{ мм}^2/(\text{кА} \cdot \text{с}^{1/2})$ для кабелей до 10 кВ с медным жилами, $\alpha = 12 \text{ мм}^2/(\text{кА} \cdot \text{с}^{1/2})$ – для кабелей до 10 кВ с алюминиевыми жилами); $I_{\text{к}}^{(3)}$ – установившийся ток трехфазного КЗ, кА; $t_{\text{п}}$ – время прохождения тока трехфазного КЗ, с, определяемое по формуле:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{р.з}} + t_{\text{о.в}}, \quad (40)$$

где $t_{\text{р.з}}$ – время действия релейной защиты, с; $t_{\text{о.в}}$ – полное время отключения выключателя, с.

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

3.5.5. Выбор сечений по экономической плотности тока

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

$$S_э = \frac{I_p}{j_э}, \quad (41)$$

где I_p – расчетный ток в час максимума нагрузки энергосистемы, А; $j_э$ – нормированное значение экономической плотности тока, для заданных условий работы, А/мм² (табл. 12).

Таблица 12

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 $S_э$, полученное в результате указанного расчета, округляется до ближайшего стандартного сечения. Расчетный ток принимается для нормального режима работы, т. е. увеличение тока в послеаварийных и ремонтных режимах электрической сети не учитывается.

После определения минимально допустимого сечения по техническим условиям S_t оно сравнивается с экономически целесообразным сечением $S_э$, и на основании этого производится окончательный выбор сечений линий распределительной сети предприятия.

3.6. Выбор сечений линий цеховой электрической сети

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

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

3.6.1. Выбор сечений по допустимому нагреву

Выбор сечений линий цеховой электрической сети по допустимому нагреву длительно протекающим максимальным рабочим (расчетным) током производится аналогично выбору сечений линий распределительной сети по условию (35).

За расчетный ток распределительной линии, питающей одиночный электроприемник, принимается номинальный ток данного электроприемника:

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

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

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

где I_n – номинальный ток электроприемника, А; ПВ – продолжительность включения электроприемника, о. е.

Для распределительной линии, питающей группу одновременно запускаемых электроприемников, расчетный ток равен сумме номинальных токов электроприемников, входящих в данную группу:

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

Для магистральных шинопроводов и питающих линий определяется

расчетная нагрузка группы электроприемников по методу коэффициента расчетной активной мощности, а затем определяется расчетный ток по формуле (21).

В [табл. П13](#) приведены значения длительно допустимых токов для кабелей с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией, в [табл. П14](#) – для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, в [табл. П15](#) – для гибких кабелей с резиновой изоляцией.

При прокладке кабелей в жарких помещениях следует учитывать поправочный коэффициент на длительно допустимые токи K_T , значения которого приведены в табл. 13.

Таблица 13

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. 14.

Таблица 14

Снижающий коэффициент для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах

Способ прокладки	Количество проложенных проводов и кабелей		Снижающий коэффициент для проводов, питающих	
	одножильных	многожильных	отдельные электроприемники с $K_n \leq 0,7$	группы электроприемников и отдельные приемники 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

3.6.2. Проверка сечений по потере напряжения

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

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

где $\Delta U_{\text{т}}$ – потери напряжения во вторичной обмотке цехового трансформатора, %; $\Delta U_{\text{п.л}}$ – 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 электроприемник, потери напряжения определяются по формуле:

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

где $I_{\text{р}}$ – расчетный ток линии, А; r_0, x_0 – удельные активное и индуктивное сопротивления линии соответственно, Ом/км (табл. П16); l – длина линии, км; $\cos \varphi_{\text{ср}}$ – средневзвешенный коэффициент мощности группы электроприемников.

Потери напряжения в магистральном шинопроводе определяются по формуле:

$$\Delta U_{\text{п.л}} = \frac{\sqrt{3} \sum_{i=1}^n I_{\text{р}i} l_i \cdot 100}{U_{\text{н}}} (r_0 \cos \varphi_{\text{ср}} + x_0 \sin \varphi_{\text{ср}}), \quad (47)$$

где $I_{\text{р}i}$ – расчетный 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.

Потери напряжения в питающей линии определяются по формуле:

$$\Delta U_{\text{п.л}} = \frac{\sqrt{3} I_{\text{р}} l \cdot 100}{U_{\text{н}}} (r_0 \cos \varphi_{\text{ср}} + x_0 \sin \varphi_{\text{ср}}). \quad (48)$$

Если электроприемники, запитанные от одного распределительного

пункта или распределительного шинпровода, имеют одинаковую мощность, то проверку сечений по потере напряжения следует производить для наиболее удаленного электроприемника.

3.6.3. Проверка сечений на соответствие выбранному аппарату защиты

Данная проверка производится после выбора защитной аппаратуры. Для выбора защитной аппаратуры необходимо определить пиковые нагрузки силовых линий, которые возникают при пуске электроприемников.

Для распределительной линии, питающей одиночный электроприемник, пиковый ток равен пусковому току данного электроприемника:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п}}, \quad (49)$$

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

При отсутствии паспортных данных пусковой ток может быть принят равным:

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

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

$$I_{\text{пик}} = \sum_{i=1}^n I_{\text{пи}}, \quad (50)$$

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

Для магистрального шинпровода пиковый ток определяется по формуле:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п.мах}} + \sum_{i=1}^n I_{\text{ни}}, \quad (51)$$

где $I_{\text{п.мах}}$ – наибольший пусковой ток электроприемников в группе, А; $I_{\text{ни}}$ – номинальный ток i -го электроприемника в группе (кроме электроприемника с наибольшим пусковым током), А.

Для питающей линии пиковый ток определяется по формуле:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п.мах}} + (I_{\text{р}} - K_{\text{и}} I_{\text{н.мах}}), \quad (52)$$

где $I_{\text{п.мах}}$ – наибольший пусковой ток электроприемников в группе, А; $I_{\text{р}}$ – максимальный расчетный ток электроприемников, питающихся от данной линии, А; $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования электроприемника с наибольшим пусковым током; $I_{\text{н.мах}}$ – номинальный ток электроприемника 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:

$$\frac{I_{\text{доп}}}{I_3} \geq K_3, \quad (53)$$

где $I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток, А; I_3 – ток аппарата защиты, А; K_3 – коэффициент защиты ([табл. П17](#)).

В пояснительной записке необходимо привести пример выбора сечений для одной распределительной и одной питающей линий. Результаты выбора сечений линий цеховой электрической сети следует сводить в табл. 15.

Таблица 15

Выбор сечений линий цеховой электрической сети

Обозначение линии	Марка кабеля	Способ прокладки	Длина линии l , м	Максимальный рабочий ток $I_{\text{р}}$, А	Пиковый ток $I_{\text{пик}}$, А	Поправочный коэффициент $K_{\text{г}}$	Поправочный коэффициент $K_{\text{п}}$	Сечение по допустимому нагреву $S_{\text{н}}$, мм ²	Длительно допустимый ток $I_{\text{д}}$, 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 S , мм ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

3.7. Выбор защитной аппаратуры

3.7.1. Выбор плавких предохранителей

Аппаратом защиты называется аппарат, автоматически отключающий защищаемую электрическую цепь при возникновении в ней коротких замыканий или перегрузок.

Плавкие предохранители являются одними из наиболее простых, дешевых и надежных аппаратов защиты в низковольтных электрических сетях. В то же время предохранители являются наиболее слабым звеном электрической цепи. Защитные свойства предохранителей не регулируются и определяются типом предохранителя, габаритом патрона, номинальным током плавкой вставки и некоторыми другими факторами.

Плавкие предохранители выбираются по следующим условиям:

– по номинальному напряжению:

$$U_{н.пр} \geq U_c, \quad (54)$$

где $U_{н.пр}$ – номинальное напряжение предохранителя, В; U_c – номинальное напряжение электрической сети, В;

– по номинальному току плавкой вставки:

$$I_{н.п.в} \geq I_p, \quad (55)$$

где $I_{н.п.в}$ – номинальный ток плавкой вставки, А; I_p – расчетный ток нагрузки, А;

– номинальный ток плавкой вставки предохранителя должен быть отстроен от токов кратковременной допустимой перегрузки, пусковых и пиковых токов электроприемников по условию:

$$I_{н.п.в} \geq \frac{I_{п}}{k_{д.п}}, \quad (56)$$

где $I_{п}$ – пусковой ток электроприемника, А; $k_{д.п}$ – коэффициент, учитывающий длительность перегрузки (принимается равным $k_{д.п} = 2,5$, если время пуска электродвигателя составляет менее 10 с, $k_{д.п} = 1,6-2$, если время пуска электродвигателя составляет более 10 с, или при частых пусках электродвигателя).

Плавкие предохранители проверяются по отключающей способности по условию:

$$I_0 \geq I_k^{(3)}, \quad (57)$$

где I_0 – предельно отключаемый ток предохранителя, кА; $I_k^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ на выходе предохранителя, кА.

Выбранные плавкие предохранители должны быть также проверены по чувствительности:

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

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

Технические характеристики плавких предохранителей приведены в [табл. П18](#).

3.7.2. Выбор автоматических выключателей

Автоматические выключатели (АВ) лишены большинства недостатков, присущих плавким предохранителям, а номенклатура позволяет широко применять их в промышленных электрических сетях. По сравнению с предохранителями автоматические выключатели имеют значительно меньший разброс тока срабатывания защиты. Уставки и выдержки времени автоматических выключателей могут быть регулируемыми.

Автоматические выключатели выбираются по следующим условиям:

- по номинальному напряжению:

$$U_{н.а} \geq U_c, \quad (59)$$

где $U_{н.а}$ – номинальное напряжение автоматического выключателя, В; U_c – номинальное напряжение электрической сети, В;

- по номинальному току:

$$I_{н.а} \geq I_p, \quad (60)$$

где $I_{н.а}$ – номинальный ток автоматического выключателя, А; I_p – расчетный ток нагрузки, А;

- по номинальному току теплового расцепителя:

$$I_{\text{н.т.р}} \geq I_{\text{р}}, \quad (61)$$

где $I_{\text{н.т.р}}$ – номинальный ток теплового расцепителя, А;

– по номинальному току электромагнитного расцепителя:

$$I_{\text{н.э.р}} \geq (1,25 \div 1,35) I_{\text{пик}}, \quad (62)$$

где $I_{\text{н.э.р}}$ – номинальный ток электромагнитного расцепителя, А; $I_{\text{пик}}$ – пиковый ток защищаемого электроприемника, А.

Автоматические выключатели проверяются по отключающей способности по условию:

$$I_0 \geq I_{\text{к}}^{(3)}, \quad (63)$$

где I_0 – отключающая способность автоматического выключателя, кА; $I_{\text{к}}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ на выходе автоматического выключателя, кА.

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

– для тепловых расцепителей:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{I_{\text{н.т.р}}} &\geq 3 \text{ – для помещений с нормальной средой;} \\ \frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{I_{\text{н.т.р}}} &\geq 4 \text{ – для помещений с взрывоопасной средой;} \end{aligned} \right\} \quad (64)$$

– для электромагнитных расцепителей:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{I_{\text{н.э.р}}} &\geq 1,4 \text{ – для АВ с } I_{\text{н.а}} \leq 100 \text{ А;} \\ \frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{I_{\text{н.э.р}}} &\geq 1,25 \text{ – для остальных АВ,} \end{aligned} \right\} \quad (65)$$

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

Номинальные токи расцепителей автоматических выключателей, по-

следовательно включенных в цепь на разных уровнях системы электрообеспечения, 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 коротких замыканиях 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. П19](#).

В пояснительной записке необходимо привести пример выбора аппарата защиты. Результаты выбора защитной аппаратуры следует сводить в табл. 16.

Таблица 16

Выбор защитной аппаратуры

Обозначение линии	Обозначение ЭП или узла питания	Тип аппарата защиты	Номинальное напряжение аппарата защиты U_n , В	Максимальный рабочий ток I_p , А	Пиковый ток, $I_{лик}$, А	Номинальный ток аппарата защиты I_n , А	Номинальный ток теплового расцепителя автоматического выключателя $I_{н.т.р.}$, А или номинальный ток плавкой вставки предохранителя $I_{н.п.в.}$, А	Номинальный ток электромагнитного расцепителя $I_{н.э.р.}$, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9

3.8. Расчет токов короткого замыкания

3.8.1. Расчет токов короткого замыкания в высоковольтной сети

Коротким замыканием называется всякое не предусмотренное нормальными условиями работы соединение двух точек электрической цепи (непосредственное или через пренебрежимо малое сопротивление). Вследствие КЗ в цепях возникают опасные для элементов сети токи, способные вывести их из строя. Поэтому для обеспечения надежной работы электрической сети, электрооборудования, устройств релейной защиты производится расчет токов КЗ.

Расчет токов КЗ может осуществляться в относительных или именованных единицах. Однако при расчете токов короткого замыкания в высоковольтной сети наибольшее распространение получил метод расчета в относительных единицах. Порядок расчета токов КЗ следующий:

1. Составление расчетной схемы.

Расчетная схема составляется в однолинейном виде. В нее вводятся все источники, участвующие в питании места КЗ, и все элементы системы электроснабжения (трансформаторы, линии, реакторы), расположенные между ними и местом КЗ. На расчетной схеме указываются основные параметры элементов (мощности, напряжения КЗ трансформаторов, длины и сечения линий, сопротивления источников и т. д.) и отмечаются точки КЗ.

2. Выбор базисных условий.

Параметры входящих в расчетную схему элементов в справочной литературе указываются в различных единицах, отнесенных к номинальным условиям их работы. Поэтому необходимо привести параметры всех элементов к базисным условиям. В качестве базисных условий принимают базисную мощность и базисное напряжение.

Для базисной мощности целесообразно принимать значения, кратные 10 МВА, или номинальную мощность одного из элементов, часто повторяющихся в схеме.

Базисное напряжение принимается для каждой ступени напряжения равным ее среднему номинальному напряжению. Шкала средних номинальных напряжений: 230; 154; 115; 37; 20; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,525; 0,4; 0,23 кВ. Базисное напряжение в расчетах будет меняться для каждой ступени напряжения в зависимости от точки КЗ. При расчетах действительные коэффициенты трансформации трансформаторов заменяются отношениями средних номинальных напряжений. При этом пересчет относительных сопротивлений по напряжению не производится (кроме реакторов).

3. Определение базисного тока.

Базисный ток определяется по формуле:

$$I_{\bar{6}} = \frac{S_{\bar{6}}}{\sqrt{3}U_{\bar{6}}} . \quad (66)$$

- 4 Определение сопротивлений элементов системы электроснабжения.
Сопротивление энергосистемы определяется по формуле:

$$x_{c.\bar{6}}^* = x_c \frac{S_{\bar{6}}}{U_{\bar{6}}^2} , \quad (67)$$

где x_c – реактивное сопротивление энергосистемы, Ом.

Активное и индуктивное сопротивления двухобмоточного трансформатора определяются по формулам:

$$x_{т.\bar{6}}^* = \frac{u_k}{100} \frac{S_{\bar{6}}}{S_{ном.т}} , \quad (68)$$

$$r_{т.\bar{6}}^* = \frac{P_k S_{\bar{6}} \cdot 10^{-3}}{S_{ном.т}^2} , \quad (69)$$

где u_k – напряжение короткого замыкания трансформатора, %; P_k – потери короткого замыкания трансформатора, кВт; $S_{ном.т}$ – номинальная мощность трансформатора, МВА.

Активное и индуктивное сопротивления линии электропередачи определяются по формулам:

$$x_{л.\bar{6}}^* = x_0 l \frac{S_{\bar{6}}}{U_{ср}^2} , \quad (70)$$

$$r_{л.\bar{6}}^* = r_0 l \frac{S_{\bar{6}}}{U_{ср}^2} , \quad (71)$$

где r_0 , x_0 – удельные активное и индуктивное сопротивления линии, Ом/км; l – длина линии, км; $U_{ср}$ – среднее номинальное напряжение линии, кВ.

4. Определение суммарного полного сопротивления до точки КЗ.

После определения сопротивлений элементов системы электроснабжения определяется суммарное полное сопротивление до точки КЗ (электрическая удаленность точки КЗ) по формуле:

$$z_{\Sigma}^* = \sqrt{r_{\Sigma}^{*2} + x_{\Sigma}^{*2}}, \quad (72)$$

r_{Σ}^* и x_{Σ}^* – суммарные активное и индуктивное сопротивления до точки КЗ.

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 $r_{\Sigma}^* \geq 1/3 x_{\Sigma}^*$.

5. Расчет тока трехфазного КЗ.

Ток трехфазного КЗ определяется по формуле:

$$I_K^{(3)} = \frac{I_6}{z_{\Sigma}^*}. \quad (73)$$

6. Расчет ударного тока КЗ.

Ударным током КЗ называется наибольшее действующее значение полного тока КЗ за первый период после возникновения короткого замыкания.

Ударный ток КЗ определяется по формуле:

$$i_y = \sqrt{2} k_y I_K^{(3)}, \quad (74)$$

где k_y – ударный коэффициент, зависящий от постоянной времени цепи КЗ.

Значение ударного коэффициента k_y определяется по графикам зависимости, представленным на рис. 12.

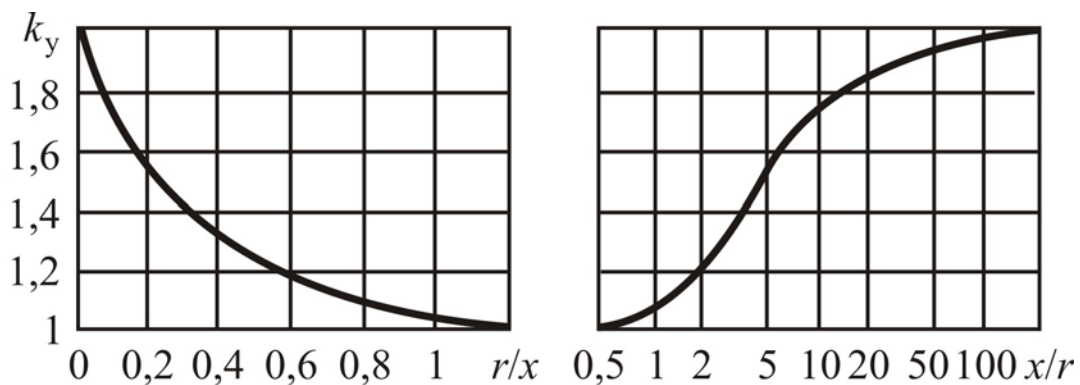


Рис. 12. Графики зависимости ударного коэффициента k_y от отношений r/x и x/r

7. Определение мощности КЗ.

Мощность КЗ определяется по формуле:

$$S_k = \sqrt{3}U_{\phi}I_k^{(3)}. \quad (75)$$

3.8.2. Расчет токов короткого замыкания в низковольтной сети

В системах электроснабжения промышленных предприятий электрические сети до 1 кВ имеют наибольшую протяженность, поэтому на них приходится большая доля возникающих КЗ. В связи с этим защитная аппаратура и токоведущие части электроустановок должны надежно работать в режиме КЗ.

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

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

При расчете 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. При этом следует использовать шкалу средних номинальных напряжений.

Токи КЗ в электрических сетях напряжением до 1 кВ рекомендуется рассчитывать в именованных единицах.

Активные и индуктивные сопротивления всех элементов схемы замещения рекомендуется выражать в миллиомах.

Для определения суммарных сопротивлений до точки КЗ необходимо составить расчетную схему, на которой приводятся технические характеристики цеховых трансформаторов (тип, схема соединения обмоток, но-

минальная мощность, номинальные напряжения обмоток, напряжение КЗ трансформатора и мощность потерь КЗ), марка кабелей, сечения и длины линий, типы и номинальные токи защитных аппаратов, точки КЗ.

Пример расчетной схемы приведен на рис. 13.

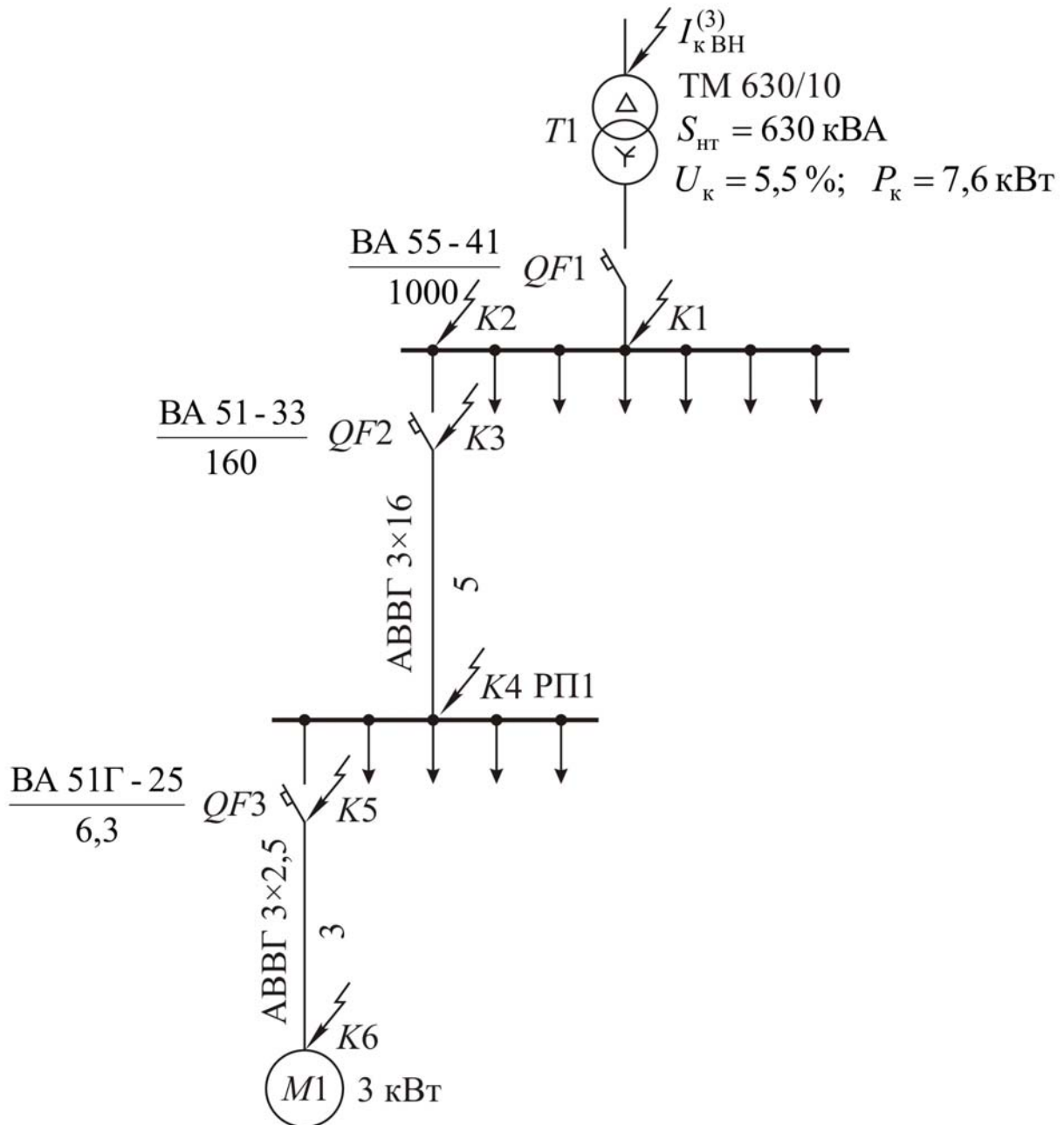


Рис. 13. Расчетная схема

Далее на основании расчетной схемы составляются схемы замещения прямой и нулевой последовательностей, представленные на рис. 14 и 15 соответственно.

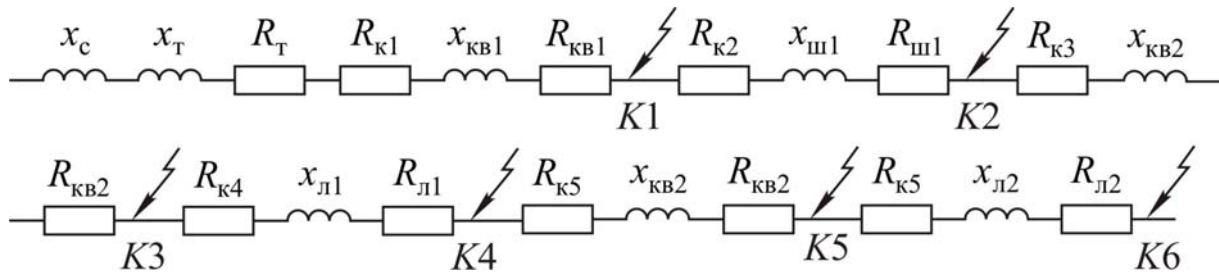


Рис. 14. Схема замещения прямой последовательности: x_c – эквивалентное сопротивление системы; R_T , x_T – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности цехового трансформатора; R_{KB} , x_{KB} – активное и индуктивное сопротивления токовых катушек автоматических выключателей; $R_{л}$, $x_{л}$ – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности кабельных линий; R_K – активное сопротивление различных контактов

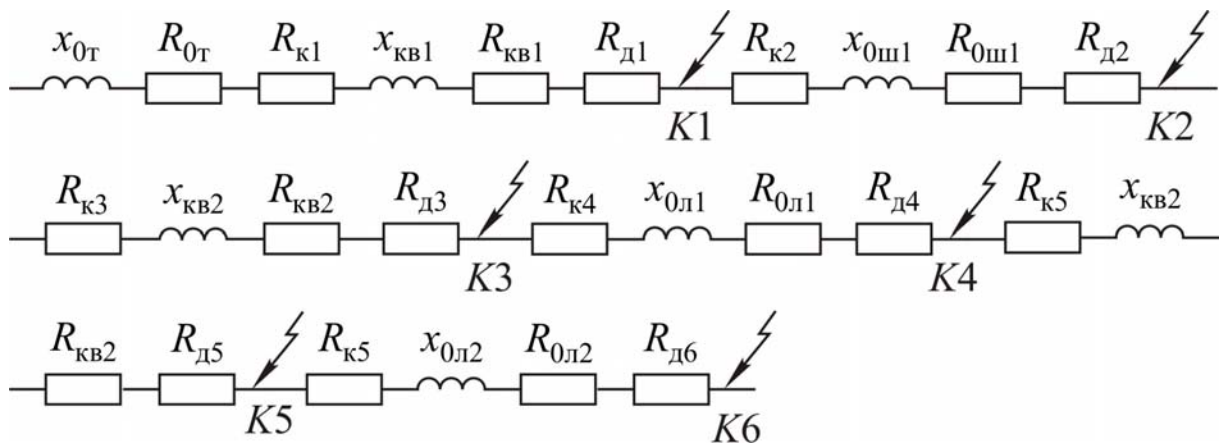


Рис. 15. Схема замещения нулевой последовательности: R_{0T} , x_{0T} – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности цехового трансформатора; $R_{0л}$, $x_{0л}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности кабельных линий; $R_{д}$ – сопротивление дуги в месте короткого замыкания

При расчете 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:

$$x_c = \frac{U_{\text{НН.ср}}^2}{\sqrt{3} I_{\text{к.ВН}}^{(3)} U_{\text{ВН.ср}}} = \frac{U_{\text{НН.ср}}^2}{S_{\text{к}}} \cdot 10^{-3}, \quad (76)$$

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 трехфазном КЗ у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, кА; $S_{\text{к}}$ – условная мощность короткого замыкания у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, МВА.

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

$$r_T = \frac{P_{\text{к}} U_{\text{НН.ном}}^2}{S_{\text{ном.т}}^2} \cdot 10^6; \quad (77)$$

$$x_T = \sqrt{U_{\text{к}}^2 - \left(\frac{100 P_{\text{к}}}{S_{\text{т. ном}}} \right)^2} \cdot \frac{U_{\text{НН. ном}}^2}{S_{\text{ном.т}}} \cdot 10^4, \quad (78)$$

где $S_{\text{ном.т}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА; $P_{\text{к}}$ – потери КЗ в трансформаторе, кВт; $U_{\text{НН.ном}}$ – номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, кВ; $U_{\text{к}}$ – напряжение КЗ трансформатора, %.

Активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности силовых трансформаторов, обмотки которых соединены по схеме Δ/Y_0 , при расчете 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 заводоизготовителей.

Активные и индуктивные сопротивления прямой и нулевой последовательностей шинопроводов приведены в табл. 17.

Таблица 17

Параметры комплектных шинопроводов

Тип шинопровода	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Сопротивление фазы, мОм/м		Сопротивление нулевого проводника, мОм/м	
			$r_{ш}$	$x_{ш}$	$r_{0ш}$	$x_{0ш}$
ШМА4-1250	0,38/0,66	1250	0,034	0,016	0,054	0,053
ШМА4-1650	0,38/0,66	1600	0,030	0,014	0,037	0,042
ШМА4-3200	0,38/0,66	3200	0,010	0,005	0,064	0,035
ШМА68П	0,38/0,66	2500	0,020	0,020	0,070	0,045
ШМА68П	0,38/0,66	4000	0,013	0,015	0,070	0,045
ШРА73	0,38	250	0,210	0,210	0,12	0,210
ШРА73	0,38	400	0,150	0,170	0,162	0,164
ШРА73	0,38	630	0,100	0,130	0,162	0,164

Активные и индуктивные сопротивления прямой и нулевой последовательностей кабелей приведены в табл. 18 – 21.

Таблица 18

Параметры кабелей с алюминиевыми жилами в алюминиевой оболочке

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Сопротивление трехжильного кабеля, мОм/м			
	$r_1 = r_2$	$x_1 = x_2$	r_0	x_0
3×4	9,61	0,092	10,95	0,579
3×6	6,41	0,087	7,69	0,523
3×10	3,84	0,082	5,04	0,461
3×16	2,4	0,078	3,52	0,406
3×25	1,54	0,062	2,63	0,359
3×35	1,1	0,061	2,07	0,298
3×50	0,769	0,06	1,64	0,257
3×70	0,549	0,059	1,31	0,211
3×95	0,405	0,057	1,06	0,174
3×120	0,32	0,057	0,92	0,157
3×150	0,256	0,056	0,78	0,135
3×185	0,208	0,056	0,66	0,122
3×240	0,16	0,055	0,553	0,107

Таблица 19

**Параметры кабелей с алюминиевыми жилами
в свинцовой оболочке**

Сечение токопроводящей жила, мм ²	Сопротивление трехжильного кабеля, мОм/м			
	$r_1 = r_2$	$x_1 = x_2$	r_c	x_0
3×4	9,61	0,092	11,6	1,24
3×6	6,41	0,087	8,38	1,2
3×10	3,84	0,082	5,78	1,16
3×16	2,4	0,078	4,32	1,12
3×25	1,54	0,062	3,44	1,07
3×35	1,1	0,061	2,96	1,01
3×50	0,769	0,06	2,6	0,963
3×70	0,549	0,059	2,31	0,884
3×95	0,405	0,057	2,1	0,793
3×120	0,32	0,057	1,96	0,742
3×150	0,256	0,056	1,82	0,671
3×185	0,208	0,056	1,69	0,606
3×240	0,16	0,055	1,55	0,535

Таблица 20

**Параметры кабелей с алюминиевыми жилами
в непроводящей оболочке**

Сечение токопроводящей жила, мм ²	Сопротивление трехжильного кабеля, мОм/м			
	$r_1 = r_2$	$x_1 = x_2$	r_0	x_0
3×4	9,61	0,092	11,7	2,31
3×6	6,41	0,087	8,51	2,274
3×10	3,84	0,082	5,94	2,24
3×16	2,4	0,078	4,5	2,2
3×25	1,54	0,062	3,64	2,17
3×35	1,1	0,061	3,3	2,14
3×50	0,769	0,06	2,869	2,08
3×70	0,549	0,059	2,649	2,07
3×95	0,405	0,057	2,505	2,05
3×120	0,32	0,057	2,42	2,03
3×150	0,256	0,056	2,36	2,0

Таблица 21

Параметры кабелей с медными жилами в стальной оболочке

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Сопротивление трехжильного кабеля, мОм/м, при температуре жилы 65 °С			
	$r_1 = r_2$	$x_1 = x_2$	r_0	x_0
3×6	3,54	0,094	4,07	1,69
3×10	2,13	0,088	2,66	1,65
3×16	1,33	0,082	1,86	1,61
3×25	0,85	0,082	1,38	1,57
3×35	0,61	0,079	1,14	1,54
3×50	0,43	0,078	0,96	1,51
3×70	0,3	0,065	0,83	1,48
3×95	0,22	0,064	0,75	1,45
3×120	0,18	0,062	0,71	1,43
3×150	0,14	0,061	0,67	1,41
3×185	0,115	0,061	0,65	1,39
3×240	0,089	0,06	0,62	1,36

Значения переходных сопротивлений контактных соединений кабелей, разъемных контактов коммутационных аппаратов и шинопроводов приведены соответственно в табл. 22 – 24.

Таблица 22

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 23

Приближенные значения сопротивлений разъемных контактов коммутационных аппаратов напряжением до 1 кВ

Номинальный ток аппарата, А	Активное сопротивление, мОм, разъемных 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 24

Сопротивления контактных соединений шинопроводов

Номинальный ток, А	250	400	630	1600	2500	4000
Серия шинопроводов	ШРА-73	ШРА-73	ШРА-73	ШМА-73	ШМА-68Н	ШМА-68Н
Сопротивление контактного соединения, мОм	0,009	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001

При приближенном учете 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.

Расчет токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ следует проводить 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. 25.

Таблица 25

Сопротивления катушек и контактов
автоматических выключателей

Номинальный ток выключателя, А	Сопротивление катушки и контакта, мОм	
	r_{KB}	x_{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. 26.

Таблица 26

Значения активного сопротивления дуги

Расчетные условия КЗ	Активное сопротивление дуги r_d , мОм, при КЗ за трансформатором мощностью, кВА					
	250	400	630	1000	1600	2500
КЗ вблизи выводов низшего напряжения трансформатора:						
- в разделке кабелей напряжением:						
0,4 кВ	15	10	7	5	4	3
0,525 кВ	14	8	6	4,5	3,5	2,5
0,69 кВ	12	7	5	4	3	2
- в шинпроводе ШМА напряжением:						
0,4 кВ	—	—	—	6	4	3
0,525 кВ	—	—	—	5	3,5	2,5
0,69 кВ	—	—	—	4	3	2
КЗ в конце шинпровода ШМА длиной 100–150 м напряжением:						
0,4 кВ	—	—	—	6–8	5–7	4–6
0,525 кВ	—	—	—	5–7	4–6	3–5
0,69 кВ	—	—	—	4–6	3–5	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:

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{U_{\text{НН.ср}}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (79)$$

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:

$$I_{\text{к}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} U_{\text{НН.ср}}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}, \quad (80)$$

где $r_{0\Sigma}$ и $x_{0\Sigma}$ – суммарные активное и индуктивное сопротивления нулевой

последовательности цепи КЗ до точки КЗ соответственно, мОм.

Ударный ток КЗ определяется по формуле (74).

3.9. Выбор высоковольтной коммутационной аппаратуры

3.9.1. Выбор 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 (расчетным) током и проверяются по отключающей способности, а также на электродинамическую и термическую стойкость к токам КЗ.

Выбор выключателей по допустимому напряжению (по уровню изоляции) производится по условию:

$$U_{уст} \leq U_n, \quad (81)$$

где $U_{уст}$ – номинальное напряжение проектируемой электроустановки, кВ; U_n – номинальное (каталожное) напряжение выключателя, кВ.

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

$$I_{раб. max} \leq I_n, \quad (82)$$

где $I_{раб. max}$ – 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:

$$I_{п0} \leq I_{откл.н}, \quad (83)$$

где $I_{п0}$ – начальное значение периодической составляющей полного тока КЗ, кА; $I_{откл.н}$ – номинальный (каталожный) 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:

$$i_y \leq i_{\text{пр.с}}, \quad (84)$$

где i_y – ударный ток режима КЗ, кА; $i_{\text{пр.с}}$ – каталожное значение предельного сквозного тока выбираемого выключателя, кА.

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

$$B_{\text{к.рас.}} \leq B_{\text{к.н}}, \quad (85)$$

где $B_{\text{к.рас.}} = I_{\text{п0}}^2(t_{\text{откл.}} + T_a)$ – расчетное значение теплового импульса в период КЗ, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$; $t_{\text{откл.}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{о.в.}}$ – длительность КЗ, с; $t_{\text{р.з.}}$ – время действия релейной защиты, с; $t_{\text{о.в.}}$ – полное время отключения выключателя, с; T_a – постоянная времени затухания периодической составляющей тока КЗ, с; $B_{\text{к.н.}} = I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}}$ – номинальное значение теплового импульса выключателя, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$; $I_{\text{т}}$ – номинальный ток термической стойкости выключателя, кА; $t_{\text{т}}$ – номинальное значение времени термической стойкости выключателя, с.

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

Технические данные некоторых типов выключателей приведены в [табл. П20 – П28](#).

В пояснительной записке необходимо привести пример выбора выключателей. Результаты выбора выключателей следует сводить в табл. 27.

Таблица 27

Выбор выключателей

Расчетные величины	Каталожные данные выключателя	Условия выбора
	...	
$U_{\text{уст}}$	$U_{\text{н}}$	$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{н}}$
$I_{\text{раб. max}}$	$I_{\text{н}}$	$I_{\text{раб. max}} \leq I_{\text{н}}$
$I_{\text{п0}}$	$I_{\text{откл.н}}$	$I_{\text{п0}} \leq I_{\text{откл.н}}$
i_y	$i_{\text{пр.с}}$	$i_y \leq i_{\text{пр.с}}$
$B_{\text{к.рас}}$	$B_{\text{к.н}}$	$B_{\text{к.рас}} \leq B_{\text{к.н}}$

3.9.2. Выбор разъединителей

Выбор разъединителей производится аналогично выбору выключателей, но без проверки на отключающую способность, т. к. разъединители не предназначены для отключения электрических цепей под нагрузкой.

Расчетные величины для разъединителей те же, что и для выключателей, в цепях которых они установлены.

Технические данные разъединителей приведены в [табл. П29](#).

В пояснительной записке необходимо привести пример выбора разъединителей. Результаты выбора разъединителей следует сводить в табл. 28.

Таблица 28

Выбор разъединителей

Расчетные величины	Каталожные данные разъединителя	Условия выбора
	...	
$U_{уст}$	U_H	$U_{уст} \leq U_H$
$I_{раб. max}$	I_H	$I_{раб. max} \leq I_H$
i_y	$i_{пр.с}$	$i_y \leq i_{пр.с}$
$B_{к.рас}$	$B_{к.н}$	$B_{к.рас} \leq B_{к.н}$

3.10. Методические указания по выполнению графической части проекта

Графическая часть проекта состоит из одного чертежа, на котором должны быть представлены принципиальная однолинейная электрическая схема электроснабжения промышленного предприятия и план расположения электрооборудования и прокладки электрической сети цеха (по вариантам).

На принципиальной схеме изображают все электрические элементы или устройства, необходимые для осуществления заданных электрических процессов, и электрические связи между ними.

Планы расположения электрооборудования и прокладки электрических сетей (далее – планы расположения) выполняют при проектировании подстанций, распределительных пунктов, электрических сетей высокого и низкого напряжений, сетей освещения и т. д.

Масштаб планов расположения выбирают с учетом их сложности и насыщенности. Он должен обеспечивать четкое графическое изображение электрических сетей и оборудования. Масштабы на чертежах не показыва-

ют, за исключением случаев, предусмотренных стандартами.

На планах расположения показывают:

- строительные и технологические конструкции, определяющие трассы прокладки электрических сетей;
- границы и классы взрыво- и пожароопасных зон, категории и группы взрывоопасных смесей по классификации [2];
- наименования отделений, участков цехов, помещений и т. п.;
- наименования или обозначения электромашинных помещений, помещений щитов управления, кабельных туннелей и других электротехнических сооружений;
- электрооборудование и электрические сети в виде условных графических изображений с указанием буквенно-цифровых обозначений по принципиальным схемам.

Электрооборудование и электрические сети на планах расположения приводят в следующем составе:

- электроприемники (с указанием их позиционных обозначений и паспортной мощности);
- трансформаторные подстанции;
- комплектные распределительные устройства (распределительные пункты, шкафы, щиты и т. д.);
- шинопроводы (магистральные, распределительные);
- трассы прокладки кабелей и проводов (с указанием условных обозначений питающих и распределительных линий).

Пример плана расположения электрооборудования и прокладки электрической сети цеха приведен на рис. 16.

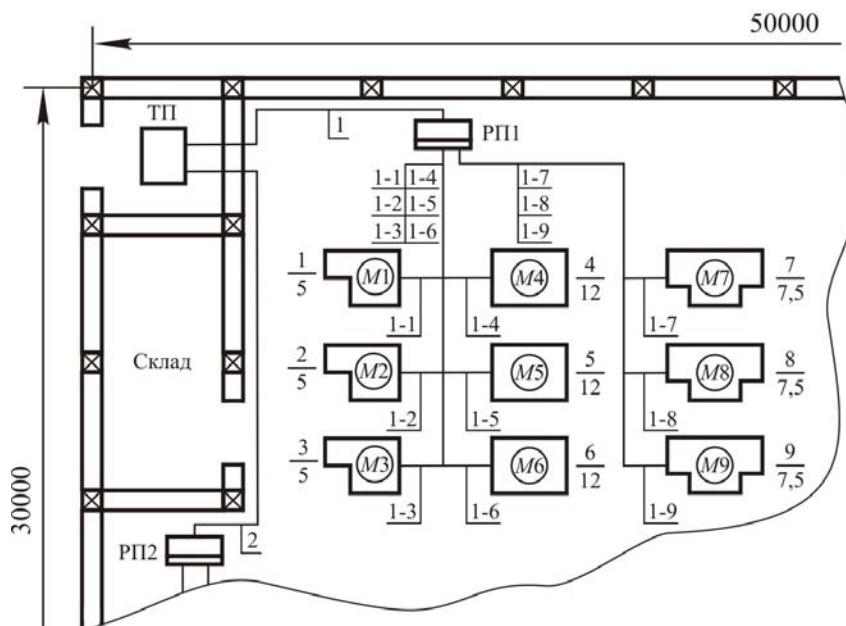


Рис. 16. План расположения электрооборудования

и прокладки электрической сети цеха

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указания по расчету электрических нагрузок [Текст] : РТМ 36.18.32.4-92 : утв. ВНИПИ Тяжпромэлектропроект 30.07.92 : ввод в действие с 01.01.93.
2. Правила устройства электроустановок [Текст] : утв. М-вом энергетики Рос. Федерации 08.07.02. – 6-е и 7-е изд. (все действующие разделы). – Новосибирск : Сиб. унив. изд-во, 2009. – 853 с.
3. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий [Текст] : учеб. для студентов высших учебных заведений / Б. И. Кудрин. – М. : Интермет Инжиниринг, 2005. – 672 с.
4. Киреева, Э. А. Электроснабжение цехов промышленных предприятий [Текст] / Э. А. Киреева, В. В. Орлов, Л. Е. Старкова. – М. : НТФ «Энергопресс», 2003. – 120 с.
5. Шеховцов, В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования [Текст] / В. П. Шеховцов. – М. : ИНФРА-М, 2005. – 214 с.
6. Кабышев, А. В. Расчет и проектирование систем электроснабжения : Справочные материалы по электрооборудованию [Текст] : учеб. пособие / А. В. Кабышев, С. Г. Обухов. – Томск : Том. политехн. ун-т, 2005. – 168 с.
7. Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий [Текст] / Под общ. ред. С. И. Гамазина, Б. И. Кудрина, С. А. Цырука. – М. : Издательский дом МЭИ, 2010. – 745 с.
8. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию [Текст] : в 2 т. / Под ред. А. А. Федорова. Т. 1. Электроснабжение. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 568 с.
9. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию [Текст] : в 2 т. / Под ред. А. А. Федорова. Т. 2. Электрооборудование. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 592 с.
10. Неклепаев, Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций : Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования [Текст] : учеб. пособие для вузов / Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.