

**ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

**В.В.ВАХНИНА  
А.Н.ЧЕРНЕНКО**

**Э**ЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ  
И ГОРОДОВ



**У**ЧЕБНОЕ

**ПОСОБИЕ**

**В.В.ВАХНИНА  
А.Н.ЧЕРНЕНКО**

**Э**ЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ И ГОРОДОВ

**У**ЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

**Тольятти  
ТГУ  
2007**

**УДК658.26 (075.8)**

**В.В.Вахнина, А.Н.Черненко.**

Электроснабжение промышленных предприятий и городов:

Учебное пособие для практических занятий и курсового проектирования–

Тольятти: ТГУ, 2007. – 40с

Приведены примеры расчетов электрических нагрузок, выбора сечений проводников и проверке электрических сетей предприятий и городов по допустимой потере напряжения, а также выбора видов защит в электроустановках напряжением до 1 кВ.

Содержание пособия составлено в соответствии с программой курсов «Электроснабжение», «Системы электроснабжения» для специальностей «Электроснабжение»; «Внутризаводское электроснабжение и режимы», «Потребители электрической энергии» для студентов специальности «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений».

Учебное пособие может быть использовано при выполнении курсового и дипломного проектирования.

**Рецензенты:**

Кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий» Московского энергетического института (ТУ), доктор технических наук, профессор С.И. Гамазин.

Кафедра «Электроснабжение и электротехника» Тольяттинского государственного университета, кандидат технических наук, доцент В.А. Шаповалов.

# Содержание

Введение.....	4
1. Расчет электрических нагрузок в электроустановках напряжением до 1 кВ методом упорядоченных диаграмм показателей графиков электрических нагрузок.....	5
2. Определение расчетных электрических нагрузок упрощенными методами .....	11
3. Выбор сечения проводов и кабелей по допустимому нагреву электрическим током.....	15
4. Защита электрических сетей и электроприемников напряжением до 1 кВ .....	22
4.1 Выбор плавких вставок предохранителей .....	22
4.2 Выбор расцепителей автоматических выключателей.....	24
4.3 Выбор тепловых реле магнитных пускателей .....	25
5. Расчет электрических сетей по потере напряжения .....	26
Литература .....	28
Приложение П1. Контрольные работы .....	29
Контрольная работа №1. Определение электрических нагрузок в электроустановках напряжением до 1 кВ методом упорядоченных диаграмм показателей графиков электрических нагрузок .....	29
Контрольная работа №2. Определение расчетных электрических нагрузок упрощенными методами.....	31
Контрольная работа №3. Выбор сечения проводов и кабелей по допустимому нагреву электрическим током .....	33
Контрольная работа №4. Защита электрических сетей и электроприемников напряжением до 1 кВ.....	36
Контрольная работа №5 Расчет электрических сетей по потере напряжения .....	39

## **Введение**

В пособии рассмотрены примеры расчета электрических нагрузок в электроустановках напряжением до 1 кВ методом упорядоченных диаграмм и упрощенными методами для цеховых сетей промышленных предприятий и жилых районов городских сетей. Приведены примеры выбора сечений проводников по дополнительному нагреву электрическим током. Выполнен анализ видов защит электрических сетей и электроприемников напряжением до 1 кВ, а также приведены примеры выбора аппаратов защит: предохранителей, магнитных пускателей, автоматических выключателей. Рассмотрены вопросы проверки электрических сетей по допустимой потере напряжения с учетом требований ГОСТ 13109-97.

В приложениях приведены варианты контрольных работ и заданий по курсовой работе по курсам «Электроснабжение», «Системы электроснабжения» и «Внутризаводское электроснабжение и режимы».

Содержание пособия составлено в соответствии с программой курсов «Электроснабжение», «Системы электроснабжения» для студентов специальностей 140211 «Электроснабжение»; «Внутризаводское электроснабжение и режимы», «Потребители электрической энергии» для студентов специальности 140610 «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений». Учебное пособие может быть использовано при выполнении курсового и дипломного проектирования.

# 1. Расчет электрических нагрузок в электроустановках напряжением до 1 кВ методом упорядоченных диаграмм показателей графиков электрических нагрузок

**Краткие теоретические сведения.** Расчетная нагрузка по допустимому нагреву представляет собой такую условную длительную неизменную нагрузку, которая эквивалентна ожидаемой изменяющейся нагрузке по наиболее тяжелому тепловому воздействию: максимальной температуре нагрева проводника или тепловому износу его изоляции.

В соответствии с [3] расчетная активная мощность группы электроприемников (количество электроприемников в группе более одного) на напряжение до 1 кВ определяется по выражению

$$P_p = K_M \sum_{i=1}^n k_{ui} P_{Hi} \quad (1.1)$$

где  $K_M$  - коэффициент максимума;  $k_{ui}$  - коэффициент использования  $i$ -го электроприемника, значения  $k_u$  для характерных электроприемников приведены в таблице 1.1;  $p_{ui}$  - номинальная мощность  $i$ -го электроприемника;  $n$  - количество электроприемников в группе.

Групповой коэффициент использования

$$K_u = \frac{\sum_{i=1}^n k_{ui} P_{Hi}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}} \quad (1.2)$$

Значение  $K_M$  зависит от эффективного числа электроприемников ( $n_{\text{э}}$ ), группового коэффициента использования ( $K_M$ ), а также от постоянной времени нагрева сети, для которой рассчитываются электрические нагрузки. В методике расчета приняты следующие значения постоянной времени нагрева ( $T_o$ ):

$T_o = 10$  мин - для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные шинопроводы, пункты, сборки, щиты. Значения  $K_M$  для этих сетей принимаются по табл. 1.2;

$T_o = 2,5$  ч - для магистральных шинопроводов и цеховых трансформаторов. Значения  $K_M$  для этих сетей принимаются по табл. 1.3.

Эффективное число электроприемников  $n_{\text{э}}$  - это такое число однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое обуславливает те же значения расчетной нагрузки, что и группа различных по мощности и режиму работы электроприемников.

Величина  $n_{\text{э}}$  определяется по выражению:

$$n_{\text{э}} = \frac{\left( \sum_{i=1}^m n_{\text{э}i} P_{H.\text{э}i} \right)^2}{\sum n_{\text{э}i} P_{H.\text{э}i}^2} \quad (1.3)$$

**Таблица 1.1 - Коэффициенты использования и коэффициенты мощности  
некоторых механизмов и аппаратов**

Электроприемники	Коэффициенты	
	использования ( $k_u$ )	мощности ( $\cos\varphi$ )
1. Металлорежущие станки мелкосерийного производства, мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные и др.	0,12-0,14	0,4-0,5
2. То же при крупносерийном производстве	0,16	0,5 - 0,6
3. То же при тяжелом режиме работы: штамповочные прессы, автоматы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, расточные станки	0,17	0,65
4. То же с особо тяжелым режимом работы: приводы молотов, ковочных машин, волочильных станков, очистительных барабанов и др.	0,2 - 0,24	0,65
5. Многошпиндельные автоматы	0,2	0,6
6. Краны мостовые, грейферные, кран-балки, тельферы, лифты	0,15 - 0,35	0,5
7. Вентиляторы, санитарно-гигиеническая вентиляция	0,65 - 0,8	0,8
8. Насосы, компрессоры, двигатель-генераторы	0,7	0,85
9. Сварочные трансформаторы дуговой электросварки	0,2	0,4
10. Печи сопротивления, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75 - 0,8	1,0
11. Индукционные печи низкой частоты	-	0,35
12. Индукционные печи высокой частоты	-	0,65 - 0,8
13. Элеваторы, транспортеры, конвейеры	0,4 - 0,55	0,75
14. Дуговые сталеплавильные печи	0,5 - 0,75	0,8 - 0,9
15. Гальванические установки	0,4 - 0,5	0,6 - 0,8

**Таблица 1.2 - Значения коэффициентов максимума  $K_M$  для питающих сетей напряжением до 1 кВ для постоянной времени нагрева  $T_o = 10$  мин**

Эффективное число электроприемников $n_э$	Коэффициент максимума $K_M$ при $K_H$									
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14	1,05
5	3,23	2,87	2,42	2,0	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12	1,04
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,1	1,04
7	2,88	2,48	2,1	1,8	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09	1,04
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,4	1,3	1,2	1,08	1,04
9	2,56	2,2	1,9	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08	1,03
10	2,42	2,1	1,84	1,6	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07	1,03
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07	1,03
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07	1,03
20	1,84	1,65	1,5	1,34	1,24	1,2	1,15	1,11	1,06	1,03
25	1,71	1,55	1,4	1,28	1,21	1,17	1,14	1,1	1,06	1,03
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,1	1,05	1,03
40	1,5	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05	1,02
50	1,4	1,3	1,23	1,16	1,14	1,11	1,1	1,08	1,04	1,02
60	1,32	1,25	1,19	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,03	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,1	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02	1,02
140	1,17	1,15	1,11	1,08	1,06	1,06	1,06	1,05	1,02	1,02
200	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
240	1,14	1,11	1,08	1,07	1,05	1,05	1,05	1,03	1,01	1,01
300	1,12	1,1	1,07	1,06	1,04	1,04	1,04	1,03	1,01	1,01

**Таблица 1.3 - Значения коэффициентов максимума  $K_M$  на шинах низкого напряжения цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ**

$n_3$	Коэффициент использования $K_{и}$							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7 и более
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14
2	5,01	3,44	2,69	1,9	1,52	1,24	1,11	1,0
3	2,94	2,17	1,8	1,42	1,23	1,14	1,08	1,0
4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1,0	0,97
5	1,31	1,12	1,02	1,0	0,98	0,96	0,94	0,93
6-8	1,2	1,0	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
9-10	1,1	0,97	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10-25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9
25-50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,85	0,85
Более 50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8

В случаях, когда расчетная мощность  $P_p$ , вычисленная по выражению (1.1), окажется меньше номинальной наиболее мощного электроприемника ( $p_{нмакс}$ ), следует принимать  $P_p = P_{нмакс}$ .

Расчетная реактивная мощность определяется следующим образом:

- для питающих сетей (питающих распределительные шинопроводы, пункты, сборки, щиты) в зависимости от значения  $n_3$ :

$$\text{при } n_3 \leq 10 \quad Q_p = 1.1 \sum_{i=1}^n k_{ui} p_{Hi} tg \varphi_i; \quad (1.4)$$

$$\text{при } n_3 > 10 \quad Q_p = \sum_{i=1}^n k_{ui} p_{Hi} tg \varphi_i; \quad (1.5)$$

- для магистральных шинопроводов и на шинах цеховых трансформаторных подстанций, а также при определении реактивной мощности в целом по цеху, корпусу:

$$Q_p = K_M \sum_{i=1}^n k_{ui} p_{Hi} tg \varphi_i \quad (1.6)$$

где  $tg \varphi_i$  - коэффициент реактивной мощности  $i$ -го электроприемника, принимаемый по табл. 1.1 по значению  $\cos \varphi$ .

При определении  $p_n$  для многодвигательных приводов учитываются одновременно работающие электродвигатели данного привода.

Для электродвигателей с повторнократковременным режимом работы их номинальная мощность приводится к длительному режиму ( $ПВ = 100\%$ ).

При включении однофазного ЭП на фазное напряжение он учитывается как эквивалентный трехфазный ЭП номинальной мощностью

$$p_n = 3p_{н.о}; \quad q_n = 3q_{н.о}, \quad (1.7)$$

где  $p_{н.о}$ ,  $q_{н.о}$  - активная и реактивная мощности однофазного ЭП.

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

$$p_H = \sqrt{3}p_{H.O}; \quad q_H = \sqrt{3}q_{H.O}. \quad (1.8)$$

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

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

К расчетной активной и реактивной мощности силовых ЭП напряжением до 1 кВ должны быть при необходимости добавлены расчетные осветительные нагрузки  $P_{p.o}$  и  $Q_{p.o}$ .

Значение токовой расчетной нагрузки, по которой выбирается сечение линии по допустимому нагреву, определяется по выражению:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3}U_H}, \quad (1.9)$$

где  $S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}$  - полная расчетная мощность узла нагрузки, кВА.

**Пример.** Определение расчетной электрической нагрузки участка цеха.

Необходимо определить расчетную электрическую нагрузку участка цеха и характерных узлов сети - двух силовых распределительных шкафов (ШР1 и ШР2). В табл. П1.1 в соответствии с вариантом задания указаны номера электроприемников (потребителей), которые запитаны от ШР1 и ШР2. В табл. П1.2 дается краткая характеристика потребителей (наименование, установленная мощность) участка цеха.

Для иллюстрации расчетные нагрузки определены по исходным данным 0-го варианта табл. П1.1, П1.2. Пример расчета нагрузки участка цеха для варианта 0 приведен в таблице 1.4. В первой графе указываются наименования сетевых узлов (ШР1, ШР2, осветительная нагрузка) и номера ЭП из таблицы П1.1 в соответствии с вариантом задания, указанным преподавателем, во второй графе – наименование ЭП.

Порядок заполнения таблицы 1.4 изложен в [6].

Таблица 1.4 – Пример определения расчетной электрической нагрузки

№ п/п	Наименование узла питания или группы электроприемников		Количес тво ЭП, <i>n</i>	Установленная мощность, приведенная к ПВ=100%		<i>m</i>	<i>K<sub>И</sub></i>	<i>cos φ /tg φ</i>	Средняя нагрузка		Эффектив- ное число ЭП <i>n<sub>Э</sub></i>	<i>K<sub>М</sub></i>	Расчетная нагрузка			<i>I<sub>Р</sub></i> , А
				Одного ЭП <i>P<sub>Н.МАКС</sub></i> <i>P<sub>Н.МИН</sub></i> кВт	всех ЭП <i>P<sub>Н</sub></i> , кВт				<i>P<sub>с</sub></i> , кВт	<i>Q<sub>с</sub></i> , квар			<i>P<sub>р</sub></i> , кВт	<i>Q<sub>р</sub></i> , квар	<i>S<sub>р</sub></i> , кВА	
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	ШР1 1-3	Токарный станок	3	7	21		0,14	0,5/1,732	2,94	5,0						
2	11,12	Сверлильный станок	2	3	6		0,13	0,5/1,752	0,781	135						
3	14	Насос	1	5	5		0,7	0,85/0,62	3,5	2,17						
	Итого по ШР1		6		32	>3	0,23	0,65/1,18	7,22	8,52	5	1,65	11,9	937	15,1	23,0
1	ШР2 71- 75	Фрезерный станок	5	4,5	22,5		0,12	0,5/1,732	2,7	4,68						
	Итого по ШР2		5		22,5		0,12	0,5/1,732	2,7	4,68	5	23	6,86	5,15	8,58	13,0
	Осветительная нагрузка												3,5	0,5	33	5,4
	Итого по участку цеха		11		54,5	>3	0,18	0,6/133	9,92	13,2	10	1,5	18,76 +3,5	14,52 +0,5	26,0	39,6

## 2. Определение расчетных электрических нагрузок упрощенными методами

**Краткие теоретические сведения.** К упрощенным методам определения расчетных нагрузок относятся: а) метод удельного расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции или выполняемой работы; б) метод коэффициента спроса ( $K_C$ ); в) метод удельной мощности на единицу площади.

**Метод удельного расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции или работы.** Согласно этому методу расчетная нагрузка определяется по формулам:

$$P_p = P_c = \Pi W_{y\partial} / T ; \quad (1.10)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi , \quad (1.11)$$

где  $\Pi$  - количество продукции (или объем работы), выпускаемой (или выполняемой) за время  $T$ ;  $W_{y\partial}$  - удельный расход электроэнергии на единицу выпускаемой продукции или выполняемой работы;  $\operatorname{tg} \varphi$  - средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{V_T}{W_T} , \quad (1.12)$$

где  $V_T$ ,  $W_T$  - расходы соответственно реактивной и активной энергии за время  $T$ .

Метод удельного расхода электроэнергии рекомендуется применять при достаточно устойчивых значениях  $W_{y\partial}$  и наличии соответствующей базы данных об электропотреблении (удельных норм расхода электроэнергии).

**Метод коэффициента спроса ( $K_C$ ).** Расчетную нагрузку группы однородных по режиму работы электроприемников определяют по формулам:

$$P_p = K_c \cdot P_H ; \quad (1.13)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_{cp} , \quad (1.14)$$

где  $K_C$  и  $\operatorname{tg} \varphi_{cp}$  принимаются для характерной группы электроприемников по справочным материалам.

Основной недостаток данного метода состоит в том, что величина коэффициента спроса принимается одинаковой для всех электроприемников. Такое допущение возможно только при высоких значениях коэффициентов использования и эффективного числа электроприемников.

Данный метод рекомендуется применять при отсутствии конкретных данных об электроприемниках, наличии суммарной установленной мощности электроприемников ( $P_H$ ) цеха (участка) и общего характерного режима их работы.

**Метод удельной мощности на единицу площади.** Расчетная нагрузка по данному методу определяется по одной из следующих формул:

$$P_p = p_{y\partial.p} F ; \quad (1.15)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_{cp} , \quad (1.16)$$

где  $p_{y\partial.p}$  - удельная расчетная активная мощность на единицу площади, кВт/м<sup>2</sup>;  $F$  - площадь размещения электроприемников, м<sup>2</sup>.

Этот метод рекомендуется применять при относительно равномерном распределении электроприемников по площади помещения. Наиболее точные результаты получаются при большом количестве электроприемников и малой их мощности, например для инструментальных производств машиностроительных предприятий.

Характерным примером применения формулы (1.15) является определение расчетной нагрузки от источников света при общей равномерной системе освещения.

Формула 1.15 применяется также для определения нагрузки жилых домов микрорайона (квартала) [8]. В этом случае под  $p_{уд.р}$  понимается удельная расчетная нагрузка жилых домов, а под  $F$  - общая площадь жилых домов микрорайона (квартала).

Расчетная нагрузка жилого дома (квартир и силовых электроприемников)  $P_{ржд}$  определяется по формуле:

$$P_{ржд} = p_{кв.уд} \cdot n + 0,9(K'_c \sum_1^{n_l} p_{ли} + K''_c \sum_1^m p_{СТ.уи}), \quad (1.17)$$

где  $p_{кв.уд}$  - удельная расчетная электрическая нагрузка квартир;  $n$  - количество квартир; 0,9 - коэффициент участия в максимуме нагрузки силовых электроприемников;  $p_{ли}$  - установленная мощность электродвигателя лифта;  $n_l$  - количество лифтовых установок;  $p_{ст.уи}$ ,  $m$  - соответственно мощность и количество электродвигателей насосов водоснабжения, вентиляторов и других санитарно-технических устройств;  $K'_c, K''_c$  - соответствующие коэффициенты спроса.

Расчетная электрическая нагрузка линии до 1 кВ (или на шинах 0,4 кВ ТП) при смешанном питании потребителей жилых домов и общественных зданий определяется по формуле:

$$P_{рл} = P_{зд.маx} + \sum_1^n K_{yi} P_{зdi}, \quad (1.18)$$

где  $P_{зд.маx}$  - наибольшая нагрузка здания из числа зданий, питаемых по линии;  $P_{зdi}$  - расчетные нагрузки других зданий, питаемых по линии;  $K_{yi}$  - коэффициент участия в максимуме электрических нагрузок общественных зданий и (или) жилых домов.

Расчетные электрические нагрузки общественных зданий принимаются по проектам электрооборудования этих зданий или по укрупненным удельным расчетным нагрузкам по формулам (1.15), (1.16).

Расчетная электрическая нагрузка в системах электроснабжения на уровнях напряжением выше 1 кВ (РП, ГПП и др.) определяется по формулам:

$$P_{p\Sigma} = (\sum P_{рн} + \sum P_{рв} + \Delta P_T + \Delta P_l) K_o; \quad (1.19)$$

$$Q_{p\Sigma} = (\sum Q_{рн} + \sum Q_{рв} + \Delta Q_T + \Delta Q_l) K_o; \quad (1.20)$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{(P_{p\Sigma})^2 + (Q_{p\Sigma})^2}, \quad (1.21)$$

где  $\sum P_{рн}, \sum Q_{рн}$  - суммы расчетных соответственно активных и реактивных мощностей на напряжение до 1 кВ;  $\sum P_{рв}, \sum Q_{рв}$  - суммы расчетных соответственно активных и реактивных мощностей на напряжение выше 1 кВ (высоковольтных потребителей);  $\Delta P_T, \Delta Q_T$  - потери мощности соответственно активные и реактивные в силовых трансформаторах 6 - 35 кВ (до окончательного выбора мощности трансформаторов можно принимать  $\Delta P_T, \Delta Q_T = 0,02S_{рн}$ );

$$\Delta Q_T = 0,1S_{рн}, \text{ где } S_{рн} = \sqrt{(\sum P_{рн})^2 + (\sum Q_{рн})^2}$$

$\Delta P_l, \Delta Q_l$  - потери мощности соответственно активные и реактивные в высоковольтных линиях (линиях, питающих ТП 6-35 кВ) (до окончательного выбора параметров линий электропередачи можно принимать  $\Delta P_l, \Delta Q_l = 0,035S_{рн}$ );  $\Delta P_l, \Delta Q_l = 0$  - для кабельных линий электропередачи;  $\Delta P_T, \Delta Q_T = (0,02...0,03) S_{рн}$  - для воздушных линий электропередачи);  $K_o$  - коэффициент одновременности максимумов нагрузки ( $K_o = 0,85...0,95$ ).

**Пример.** Определение расчетной нагрузки распределительной подстанции (РП 10 кВ).

От РП питаются три цеха, установленные мощности которых приведены в табл. П1.3. В табл. П1.4 в соответствии с номером цеха указаны его наименование, размеры (длина, ширина),

средние коэффициенты спроса силовой и осветительной нагрузок, средний коэффициент мощности нагрузки, удельная установленная осветительная нагрузка. Определение расчетной нагрузки выполнено в виде табл. 1.5. для 0-го варианта задания контрольной работы 2.

Основные формулы, по которым выполнялось определение расчетной нагрузки РП 10 кВ, а также расчеты потерь мощности в линиях и трансформаторах внутризаводской электрической сети выполнены следующим образом:

$$P_{pc} = K_c \cdot P_H; Q_{pc} = P_{pc} \cdot \operatorname{tg}\varphi; S_p = \sqrt{(P_{pc} + P_{po})^2 + Q_p^2};$$

$$P_{но} = p_{уд.учм} F; P_{po} = K_{co} \cdot P_{HO};$$

$$P_{p.з} = (\sum P_{p.ли} + \Delta P_T + \Delta P_{л}) K_c; Q_{p\Sigma} = (\sum Q_{p.ли} + \Delta Q_T) K_\Sigma;$$

$$\Delta P_T = 0,02 S_{p.ли}; \Delta P_T = 0,02 \cdot 5398,5 = 108 \text{кВт}; \Delta Q_T = 0,1 S_{p.ли}; \Delta Q_T = 0,1 \cdot 5398,5 = 539,9 \text{квар};$$

$$\Delta P_{л} = 0,03 S_{p.ли}; \Delta P_{л} = 0,03 \cdot 5398,5 = 162 \text{кВт};$$

$$S_{p.ли} = \sqrt{(1752,7 + 1840,1 + 509,9)^2 + (1478,4 + 1800 + 230,4)^2} = 5398,5 \text{кВА};$$

$$P_{p\Sigma} = (4102,7 + 108 + 162) \cdot 0,95 = 4154,1 \text{кВт};$$

$$Q_{p\Sigma} = (3508,8 + 539,9) \cdot 0,95 = 3846,3 \text{квар}; S_{p\Sigma} = \sqrt{4154,1^2 + 3846,3^2} = 5661,3 \text{кВА}$$

**Таблица 1.5 – Пример определения расчетной нагрузки РП 10 кВ**

№ цеха по табл. П1.4	Наименование цеха	Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка					Совместная силовая и осветительная нагрузки		
		$P_n$ , кВт	$K_c$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_{pc}$ , кВт	$Q_{pc}$ , квар	$F1$ , $m^2$	$P$ <i>уд.уст</i>	$K_{co}$	$P_{но}$ , кВт	$P_{p0}$ , кВт	$P_{pc} + P_{p0}$ кВт	$Q_{pc}$ квар	$S_p$ , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2	Механосборочный	2800	0,6	0,75	0,88	1680	1478, 4	3000	25,5	0,95	76,5	72,7	1752,7	1478,4	2292,9
4	Главный корпус	3600	0,5	0,7	1,0	1800	1800	2100	20,1	0,95	42,2	40,1	1840,1	1800	2574,0
5	Заводоуправление	600	0,8	0,9	0,48	480	230,4	1050	30,0	0,95	31,5	29,9	509,9	230,4	559,5
Итого													4102,7	3508,8	5398,5
Итого по РП с учетом потерь													4154,1	3846,3	5661,3

### 3. Выбор сечения проводов и кабелей по допустимому нагреву электрическим током

**Краткие теоретические сведения.** При протекании по проводнику (провод, кабель, шина) электрического тока происходит его нагрев. Нагрев изменяет физические свойства проводника. Чрезмерный нагрев опасен для изоляции, вызывает перегрев контактных соединений, перегорание проводника, что может привести к пожару или взрыву при неблагоприятных условиях окружающей среды.

Максимальная температура нагрева проводника, при которой изоляция его сохраняет диэлектрические свойства и обеспечивается надежная работа контактов, называется **предельно допустимой**, а наибольший ток, соответствующий этой температуре, - **длительно допустимым током по нагреву**.

Величина длительно допустимого тока для проводников зависит от его материала, сечения, изоляции, условий охлаждения и т.д.

Установлена длительно допустимая температура жилы проводника - 50...80°C (в зависимости от типа изоляции и напряжения). Установлена также нормативная (условная) температура окружающей среды (25°C - при прокладке проводников внутри и вне помещений в воздухе, 15°C - при прокладке в земле и в воде).

Длительно допустимый ток по нагреву при заданных температурных условиях (допустимой температуры нагрева жил и температуры окружающей среды по нормам) материала проводника и его сечения определяется из уравнения теплового баланса для проводника.

Для практических расчетов пользуются готовыми таблицами длительно допустимых токов по нагреву проводников из различных материалов при различных условиях прокладки.

Для выбора сечения проводника по условиям нагрева тиками нагрузки сравниваются расчетный ( $I_p$ ) и допустимый ( $I_{дон}$ ) токи для проводника принятой марки и с учетом условий его прокладки. При этом должно соблюдаться соотношение

$$I_{дон} \geq \frac{I_p}{K_n}, \quad (1.22)$$

где  $K_n$  - поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей, зависящий от фактической температуры земли и воздуха (табл. 1.16);  $I_p$  - расчетный ток длительного режима работы электроприемника (электроприемников); для одиночного электроприемника за расчетный ток принимается его номинальный ток, для группы электроприемников - расчетный ток, определяемый одним из существующих методов расчета (обычно методом упорядоченных диаграмм показателей графиков электрических нагрузок).

$I_p = I_{ПВ} \sqrt{ПВ}$  - расчетный ток повторно-кратковременного режима работы электроприемников с продолжительностью включения (ПВ) более 0,4;

$$I_p = I_{ПВ} \frac{\sqrt{ПВ}}{0,875}$$
 - расчетный ток повторно-кратковременного режима работы

электроприемников с  $ПВ \leq 0,4$  для медных проводников сечением более 6 мм<sup>2</sup>, для алюминиевых - более 10 мм<sup>2</sup>,  $I_{ПВ}$  - ток повторно-кратковременного режима работы.

Во взрывоопасных помещениях сечения проводников для ответвлений к электродвигателям с короткозамкнутым ротором принимаются исходя из условия

$$I_{дон} \geq \frac{1,25 I_p}{K_n}.$$

Для проводов и кабелей с резиновой или пластмассовой изоляцией, проложенных в коробах, а также в лотках пучками, для их длительно допустимых токов вводятся снижающие

коэффициенты 0,6...0,85 в зависимости от количества положенных рядом проводов или кабелей (п. 1.3.10,1.3.11 ПУЭ).

Допустимые длительные токи для проводов и кабелей, проложенных в коробах, а также в лотках пучками, должны приниматься в табл. 1.3.4 и 1.3.5 ПУЭ, как для проводов, проложенных в трубах, для кабелей - по табл. 1.3.6 -1.3.8 ПУЭ, как для кабелей, проложенных в воздухе. При количестве одновременно нагруженных проводов более четырех, проложенных в трубах, коробах, а также в лотках пучками, токи для проводов должны приниматься по табл. 1.3.4 и 1.3.5 ПУЭ, как для проводов, проложенных открыто (в воздухе) с введением снижающих коэффициентов 0,68 для 5 и 6; 0,63 для 7-9 и 0,6 для 10-12 проводов.

Допустимые длительные токи для проводов, проложенных в лотках, при однорядной прокладке (не в пучках) следует принимать как для проводов, проложенных в воздухе.

Допустимые длительные токи для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах, следует принимать по табл. 1.3.4-1.3.7 ПУЭ, как для одиночных проводов и кабелей, проложенных открыто (в воздухе) с применением снижающих коэффициентов, указанных в табл. 1.7.

**Таблица 1.6 - Поправочные коэффициенты на токи для кабелей неизолированных и изолированных проводов и шин  
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	-

**Таблица 1.7 - Снижающий коэффициент для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах**

Способ прокладки	Количество проложенных проводов и кабелей		Снижающий коэффициент для проводов и кабелей, питающих	
	одножильный	многожильный	отдельные электроприемники с коэффициентом использования до 0,7	группы электроприемников и отдельные приемники с коэффициентом использования более 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

При выборе снижающих коэффициентов контрольные и резервные провода и кабели не учитываются.

Длительно допустимые токи кабелей с бумажной изоляцией, проложенные в траншее, корректируются поправочными коэффициентами, учитывающими удельное сопротивление земли (табл. 1.8) и совместное количество работающих кабелей (табл. 1.9).

На период ликвидации послеаварийного режима продолжительностью не более 6 ч в сутки в течение 5 суток допускается перегрузка для кабелей: с полиэтиленовой изоляцией до 10% номинальной нагрузки, с поливинилхлоридной - до 15%, с бумажной - до 25%

В сетях, защищаемых от перегрузок [1], выбранные по условию (1.22) проводники должны быть согласованы с их защитными аппаратами.

В сетях, не требующих защиты от перегрузки, выбранные по условию (1.22) проводники также согласовываются с их защитными аппаратами, при этом допускается не выполнять расчетной проверки кратности тока короткого замыкания (КЗ) [1].

**Таблица 1.8 - Поправочный коэффициент на допустимый длительный ток для кабелей, проложенных в земле, в зависимости от удельного сопротивления земли**

Характеристика земли	Удельное сопротивление, см ·К/Вт	Поправочный коэффициент
Песок влажностью более 9%, песчано-глинистая почва влажностью более 1%	80	1,05
Нормальная почва и песок влажностью 7-9%, песчано-глинистая почва влажностью 12-14%	120	1,00
Песок влажностью более 4 и менее 7%, песчано-глинистая почва влажностью 8-12%	200	0,87
Песок влажностью до 4%, каменистая почва	300	0,75

**Таблица 1.9 - Поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле (в трубах или без труб)**

Расстояние между кабелями в свету	Коэффициент при количестве кабелей					
	1	2	3	4	5	6
мм						
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

**Пример.** Выбор сечения проводников по допустимому нагреву электрическим током.

Силовой пункт (распределительный шкаф ШР-11) питается от щита (распределительного устройства) 0,4/0,23 кВ подстанции по кабелю с бумажной изоляцией марки ААШв, проложенному в земле (траншее). Фактическая температура среды не отличается от нормативной. В траншее находятся еще три рабочих кабеля, питающие других потребителей электроэнергии.

Удельное сопротивление земли 200 см К/Вт.

От ШР-11 питаются электроприемники суммарной расчетной нагрузкой 82 А.

Электропроводка от ШР-11 к одному из электродвигателей ЭД1 ( $P_{н1}=3$  кВт,  $\cos\varphi_{н1} = 0,83$ ,  $\eta_{н1} = 83,5\%$ ) выполняется изолированным проводом марки АПВ, проложенным в пластмассовой трубе. Проводка от ШР-11 к ЭД2 ( $P_{н2}=2,2$  кВт,  $\cos\varphi_{н2} = 0,83$ ,  $\eta_{н2} = 82,5\%$ ,  $ПВ = 40\%$ ) выполняется проводом АПВ, проложенным в лотке. Общее количество проводов в виде пучка в лотке составляет 9.

Проводка к электродвигателям 1 и 2 выполняется в нормальном производственном помещении с температурой воздуха  $+30^{\circ}\text{C}$ .

Необходимо по допустимому нагреву выбрать сечение жил кабеля и проводов для питания указанных электроприемников.

**Решение.**

Выбираем сечение проводов для электродвигателя 1 (ЭД1). Расчетный ток электродвигателя ЭД1

$$I_p = i_H = \frac{3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,83 \cdot 0,825} = 6,7 \text{ А.}$$

Для ЭД1 принимаем четыре провода с алюминиевыми жилами с поливинилхлоридной изоляцией (АПВ), проложенных в пластмассовой трубе.

По табл. 1.6 в зависимости от нормированной (условной) температуры среды ( $+25^{\circ}\text{C}$ ), нормированной температуры жил ( $+65^{\circ}\text{C}$ ) и фактической (расчетной) температуры среды ( $+30^{\circ}\text{C}$ ) находим значение поправочного коэффициента 0,94.

Тогда условие выбора сечения провода

$$I_{доп} \geq \frac{6,7}{0,94} = 7,13 \text{ А.}$$

По табл. 1.3.5 [1] при условии прокладки четырех одножильных проводов в одной трубе (при определении числа проводов, прокладываемых в одной трубе, нулевой рабочий провод четырехпроводной сети или заземляющаяся жила в расчет не принимается) находим ближайшее большее или равное 7,13 А значение допустимого тока - 18 А и соответствующее ему сечение токопроводящей жилы - 2 мм<sup>2</sup>. При выборе сечения необходимо учитывать условие механической прочности, по которому минимальное сечение проводов с алюминиевыми жилами составляет 2 мм<sup>2</sup>, с медными - 1 мм<sup>2</sup>, при прокладке кабелей с алюминиевыми жилами в траншеях - 6 мм<sup>2</sup>.

Окончательно для питания ЭД1 принимаются 4 одножильных провода сечением 2 мм<sup>2</sup> - АПВ 4(1х2).

Произведем выбор сечения проводов для питания второго электродвигателя (ЭД2). Расчетный ток ЭД2 с учетом  $ПВ = 40\%$ :

$$I_p = i_{H1} = \frac{2,2 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{0,4}}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,83 \cdot 0,825 \cdot 0,875} = 3,52 \text{ А.}$$

Условие выбора с учетом поправочного коэффициента на температуру окружающей среды (см. выбор сечения провода для ЭД1) и коэффициента, учитывающего способ прокладки (9 проводов пучком в лотке)

$$I_{дон} \geq \frac{3.52}{0,94 \cdot 0.63} = 5.94 A.$$

По табл. 1.3.5 [1] ближайшее значение допустимого тока - 21 А (принимается как для проводов, проложенных открыто). Для питания ЭД2 принимается сечение провода 2 мм<sup>2</sup> - АПВ 4 (1x2).

Выбираем сечение кабеля, питающего ШР-11. Расчетная нагрузка распределительного шкафа 82 А. Кабель ААШв с бумажной изоляцией. В траншее находятся четыре рабочих кабеля. Удельное сопротивление земли 200 см-К/Вт.

По табл. 1.9 поправочный коэффициент на количество работающих кабелей с бумажной изоляцией, лежащих рядом в земле, - 0,8. По табл. 1.8 поправочный коэффициент на допустимый длительный ток в зависимости от удельного сопротивления земли - 0,87. Поправочный коэффициент на температуру окружающей среды равен 1. Тогда условие выбора сечения кабеля

$$I_{дон} \geq \frac{82}{0.8 \cdot 0.87 \cdot 1} = 117.82 A.$$

По табл. 1.3.16 ПУЭ ближайшее большее значение 135 А, что соответствует сечению токопроводящей жилы 35 мм<sup>2</sup>.

Для питания ШР-11 принимается кабель ААШв (3x35+1x16 мм<sup>2</sup>).

## 4. Защита электрических сетей и электроприемников напряжением до 1 кВ

**Краткие теоретические сведения.** Основными видами защит электрических сетей и электроприемников напряжением до 1 кВ являются защиты от перегрузки и токов короткого замыкания (КЗ).

В качестве аппаратов защиты применяются автоматические выключатели и предохранители. Для защиты электродвигателей от перегрузки и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз, применяются также тепловые реле магнитных пускателей.

Выбор аппаратов защиты (предохранителей, автоматов) выполняется с учетом следующих основных требований:

1. Номинальный ток и напряжение аппарата защиты должны соответствовать расчетному длительному току и напряжению электрической цепи.
2. Номинальные токи расцепителей автоматических выключателей и плавких вставок предохранителей необходимо выбирать по возможности меньшими по длительным расчетным токам с округлением до ближайшего большего стандартного значения.
3. Аппараты защиты не должны отключать установку при кратковременных перегрузках, возникающих в условиях нормальной работы, например, при пусках электродвигателей.
4. Время действия аппаратов защиты должно быть по возможности меньшим, и должна быть обеспечена селективность (избирательность) действия защиты при последовательном расположении аппаратов защит в электрической цепи.
5. Ток защитного аппарата (номинальный ток плавкой вставки, номинальный ток или ток срабатывания расцепителя автомата) должен быть согласован с допустимым током защищаемого проводника.
6. Аппараты защиты должны обеспечивать надежное отключение в конце защищаемого участка двух- и трехфазных КЗ при всех видах режима работы нейтрали сетей, а также однофазных КЗ в сетях с глухозаземленной нейтралью.

Надежное отключение токов КЗ в сети напряжением до 1 кВ обеспечивается в том случае, если отношение наименьшего однофазного расчетного тока КЗ ( $I_{кз}^1$ ) к номинальному току плавкой вставки предохранителя ( $I_{н.вст}$ ) или расцепителя автоматического выключателя ( $I_{н.р}$ ), имеющего обратозависимую от тока характеристику, будет не менее 3, а во взрывоопасных зонах соответственно:

$$\frac{I_{кз}^1}{I_{н.вст}} \geq 4; \frac{I_{кз}^1}{I_{н.р}} \geq 6. \quad (1.23)$$

При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель (отсекку), для автоматов с номинальным током до 100 А кратность тока КЗ относительно уставки тока мгновенного срабатывания ( $I_{ср.э}$ ) должна быть не менее 1,4, а для автоматов с номинальным током более 100 А - не менее 1,25.

Однако в сетях, защищаемых только от токов КЗ (не требующих защиты от перегрузки), за исключением протяженных сетей, допускается не выполнять расчетной проверки кратности токов КЗ к токам защитных аппаратов, если обеспечено согласование защитного аппарата с допустимым током защищаемого проводника.

### 4.1 Выбор плавких вставок предохранителей

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя определяется по величине длительного расчетного тока ( $I_p$ ):

$$I_{н.вст} \geq I_p, \quad (1.24)$$

и по условию перегрузок пиковыми токами

$$I_{н.вст} \geq I_n / \alpha, \quad (1.25)$$

где  $I_n$  - пиковый (максимальный кратковременный) ток;  $\alpha$  - коэффициент кратковременной тепловой перегрузки;  $\alpha = 2,5$  - для легких пусков с длительностью пуска до 5 с, а также при редких пусках (насосы, вентиляторы, станки и т. п.) и при защите магистрали;  $\alpha = 2$  - для тяжелых условий пуска, а также при частых (более 15 раз в час) пусках (краны, дробилки, центрифуги и т. п.);  $\alpha = 1,6$  - для ответственных электроприемников.

При выборе предохранителя для одиночного электроприемника в качестве  $I_p$  принимается его номинальный ток  $i_n$ , а в качестве  $I_n$  - пусковой ток  $i_{пуск}$ .

Для линий, питающих группу электроприемников, максимальный пиковый ток определяется:

$$I_n = I'_{пуск} + I'_p, \quad (1.26)$$

где  $I'_{пуск}$  - пусковой ток электроприемника или группы одновременно включаемых электроприемников, при пуске которых кратковременный ток линии достигает наибольшей величины;  $I'_p$  - длительный расчетный ток, определяемый без учета рабочего тока пускаемых электроприемников.

При отсутствии данных о количестве одновременно пускаемых электроприемников пиковый ток линии может быть определен по формуле:

$$I_n = i_{н.мах} + (I'_p - k_u i_{un}), \quad (1.27)$$

где  $i_{н.мах}$  - наибольший пусковой ток электроприемника группы;  $I'_p$  - расчетный по нагреву ток группы электроприемников;  $i_{un}$  - номинальный ток электроприемника с наибольшим пусковым током;  $k_u$  - коэффициент использования электроприемника с наибольшим пусковым током.

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя, защищающего ответвление к сварочному аппарату, выбирается из соотношения:

$$I_{н.вст} \geq 1,2 \cdot i_{нс} \sqrt{ПВ}, \quad (1.28)$$

где  $i_{нс}$  - номинальный ток сварочного аппарата при паспортной продолжительности включения (ПВ).

Выбранные плавкие вставки должны обеспечивать также селективность (избирательность) срабатывания. Это значит, что при КЗ на каком-либо участке сети должна перегореть плавкая вставка предохранителя только этого поврежденного участка. В общем случае защита считается селективной, когда характеристики срабатывания аппаратов защиты, последовательно расположенных в цепи с учетом зон разброса характеристик, не пересекаются.

Учитывая, что разница во времени срабатывания плавких вставок с ростом тока КЗ и в области больших токов КЗ уменьшается, а также тот фактор, что с многократным повторением циклов нагрева время срабатывания предохранителя высшей ступени может уменьшаться, для обеспечения селективности срабатывания каждый предохранитель на схеме сети по мере приближения к ИП должен иметь плавкую вставку не менее чем на две ступени выше, чем предыдущий.

**Пример.** Рассчитать ток и выбрать плавкий предохранитель для защиты линии, по которой питается электроприемник (электродвигатель) со следующими данными:

$$P_H = 18,5 \text{ кВт}; \cos \varphi_H = 0,82; \eta_H = 87\%; \frac{I_{II}}{I_H} = 7; U_H = 380 \text{ В}$$

**Решение.**

Определяем длительный расчетный ток линии:

$$I_p = i_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H}; I_p = \frac{18,5}{1,73 \cdot 0,380 \cdot 0,82 \cdot 0,87} = 39,6 \text{ А.}$$

Пусковой ток:

$$I_{II} = i_H \frac{I_{II}}{I_H}; I_{II} = 39.6 \cdot 7 = 277.2 A.$$

По длительному току

$$I_{н.вст} \geq 39.6 A.$$

По кратковременному току с учетом условий пуска

$$I_{н.вст} \geq \frac{I_n}{\alpha} \geq \frac{277.2}{2.5} \geq 110.9 A.$$

Выбираем предохранитель ПН2-250 с  $I_{н.вст}=125 A$ .

## 4.2 Выбор расцепителей автоматических выключателей

Номинальные токи расцепителей выбирают по длительному расчетному току линии:

$$I_{н.р} \geq I_p. \quad (1.29)$$

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя ( $I_{ср.э}$ ) проверяется по пиковому току линии  $I_{кр}$ :

$$I_{ср.э} \geq K_n I_{кр}, \quad (1.30)$$

где  $K_n$  - коэффициент надежности отстройки отсечки от пикового тока, учитывающий: наличие апериодической составляющей в пиковом токе; возможный разброс тока срабатывания отсечки относительно уставки; некоторый запас по току. Значения  $K_n$  принимаются в зависимости от типа автомата. При отсутствии таких данных можно принять  $K_n = 1,25 \dots 1,5$ .

Селективность срабатывания последовательно включенных автоматических выключателей обеспечивается в тех случаях, когда их защитные характеристики не пересекаются. При отсутствии защитных характеристик каждый автомат на схеме сети по мере приближения к источнику питания должен иметь номинальный ток расцепителя не менее чем на ступень выше, чем предыдущий.

**Пример.** Рассчитать ток и выбрать автоматический выключатель для защиты от перегрузки и токов короткого замыкания линии, по которой питается асинхронный двигатель мощностью 11 кВт,  $\cos \varphi_n = 0,87$ ;  $\eta_n = 87,5\%$ ;  $I_n/I_n = 7,5$ .

**Решение.**

Определяем длительный расчетный ток:

$$I_p = i_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n}; I_p = \frac{11}{1,73 \cdot 0,380 \cdot 0,87 \cdot 0,875} = 22 A.$$

Выберем номинальный ток расцепителя из условия:

$$I_{н.р} \geq I_p \geq 22 A.$$

Автоматический выключатель серии А3710Б с  $I_{н.р}=25 A$ .

Устанавливаем невозможность срабатывания автоматического выключателя при пуске:

$$I_{ср.э} \geq 1,25 I_{кр},$$

На электромагнитном расцепителе ток трогания установлен на  $10I_{нр}$ , значит  $I_{ср.эл} = 250 A$ .

Максимальный кратковременный ток

$$I_{кр} = I_n = 22 \cdot 7,5 = 165 A; I_{ср.эл} > 1,25 I_{кр} = 1,25 \cdot 165 = 206,3 A; 250 A > 206,3 A.$$

### 4.3 Выбор тепловых реле магнитных пускателей

Тепловая защита отключает электродвигатель от электрической сети, если вследствие протекания в электрической цепи повышенных токов имеет место более высокий нагрев его обмоток.

Такая перегрузка возникает при увеличении нагрузки на валу электродвигателя или при обрыве одной из фаз трехфазного электродвигателя.

Тепловая защита от перегрузки двигателей может быть осуществлена с помощью тепловых реле, которые устанавливаются в комплекте с электромагнитными пускателями.

Номинальные токи тепловых элементов реле выбирают по длительному расчетному току ( $I_p$ ) или номинальному току электродвигателя ( $I_n$ ):

$$I_{н.т} \geq I_p \text{ или } I_{н.т} \geq I_n.$$

**Пример.** Рассчитать ток и выбрать уставку теплового реле серии РТЛ магнитного пускателя ПМЛ, защищающего от перегрузки электродвигатель мощностью 5,5 кВт,  $\cos \varphi_n = 0,85$ ,  $\eta_n = 85,5\%$ .

**Решение.**

Определяем длительный расчетный ток электродвигателя

$$I_p = i_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H}; I_p = \frac{5,5}{1,73 \cdot 0,380 \cdot 0,85 \cdot 0,855} = 11,6 \text{ А.}$$

Выбираем магнитный пускатель серии ПМЛ200004 второй величины с РТЛ-101604,  $I_{н.т} = 12$  А.

## 5. Расчет электрических сетей по потере напряжения

**Краткие теоретические сведения.** Электрические сети, рассчитанные по допустимому нагреву, проверяют по потере напряжения. При передаче электроэнергии по проводам часть напряжения теряется на сопротивлении проводов и в результате в конце линии, т. е. у электроприемников, напряжение становится меньшим, чем в начале линии.

Согласно ГОСТ 13109-97 [7] в электрических сетях до 1 кВ в нормальном режиме допускаются отклонения напряжения от номинального в пределах от -5 до +5%, т. е. для того чтобы электроприемники могли нормально работать и выполнять заложенные в них функции, напряжение на их выводах должно быть не менее 95%  $U_n$  и не более 105%  $U_n$ .

Таким образом, выбранное сечение проводников должно соответствовать также условиям обеспечения электроприемников качественной электрической энергией.

Потери напряжения в элементах системы электроснабжения не нормируются. Однако допускается считать, что потери напряжения не должны превышать 1,5...1,8% в магистральном шинномпроводе; 2...2,5 % в распределительном шинномпроводе с равномерной нагрузкой; 4...6% в сетях 0,38 кВ (от ТП до ввода в здания).

В общем случае допустимая потеря напряжения в электрических сетях до 1 кВ от источника питания (ТП) до электроприемника определяется по формуле:

$$\Delta U_{\text{дон}} \% = U_{\text{xx}} \% - \Delta U_T \% - U_{\text{min}} \% , \quad (1.31)$$

где  $U_{\text{xx}}$  - напряжение холостого хода трансформатора,  $U_{\text{xx}} = 105\%$ ;  $\Delta U_T$  — потеря напряжения в питающем трансформаторе;  $U_{\text{min}}$  - минимально допустимое напряжение на зажимах электроприемника,  $U_{\text{min}} = 95\%$ .

$$\Delta U_{\text{дон}} \% = 10 - \Delta U_T \% ; \quad (1.32)$$

$$\Delta U_T \% = \beta_T (\Delta U_a \% \cos \varphi_T - \Delta U_p \% \sin \varphi_T) , \quad (1.33)$$

где  $\beta_T = \frac{S_p}{S_{HT}}$  - коэффициент загрузки трансформатора;

$U_a \% = \frac{100 \cdot \Delta P_k}{S_{HT}}$  - активная составляющая напряжения КЗ трансформатора;  $\Delta P_k$  - номинальные

потери мощности КЗ трансформатора;  $\Delta U_p \% = \sqrt{U_k^2 \% - U_a^2 \%}$  - реактивная составляющая напряжения КЗ трансформатора;  $U_k \%$  - напряжение КЗ трансформатора  $S_{HT}$ ;  $\cos \varphi_T$  - коэффициент мощности нагрузки трансформатора. Фактические потери напряжения в трехфазной линии переменного тока можно определить по формуле:

$$\Delta U_{\phi} = \sqrt{3} \cdot I_p L (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \quad (1.34)$$

где  $I_p$  - расчетный ток линии, А;  $L$  - длина линии, км;  $r_0$ ,  $x_0$  - соответственно активное и реактивное сопротивление 1 км проводника линии, Ом/км (табл. 1.10).

**Таблица 1.10 - Активное и индуктивное сопротивление проводов с медными и алюминиевыми жилами**

Сечение проводника, мм <sup>2</sup>	Активное сопротивление, Ом/км $t=20^{\circ}\text{C}$		Индуктивное сопротивление (меди и алюминия), Ом/км	
	меди	алюминия	для воздушных линий при расстоянии между проводами 15 см	для проводов, проложенных в трубах, и кабелей
2,5	8,00	13,39	0,335	0,098
4	5,00	8,35	0,332	0,095
6	3,00	5,56	0,323	0,09
10	2,00	3,33	0,308	0,073
16	1,25	2,08	0,286	0,067
25	0,8	1,335	0,272	0,066
35	0,572	0,952	0,262	0,064
50	0,4	0,668	0,25	0,062
70	0,287	0,477	0,24	0,061
95	0,211	0,352	0,228	0,06
120	0,167	0,278	0,223	0,06
150	0,133	0,222	0,214	0,059

Фактическая потеря напряжения должна быть меньше допустимой потери напряжения. Если окажется, что фактическая потеря напряжения больше допустимой величины, то выбирают проводник (проводники) большего на одну ступень сечения и повторяют проверочный расчет.

**Пример.** В упрощенной форме (без учета способа прокладки, условий окружающей среды) по допустимому нагреву выбрать кабель, питающий распределительный шкаф (ШР) и проверить его по потере напряжения. Длина кабельной линии ( $L$ ) 42 м. Данные нагрузки распределительного шкафа: установленная мощность 28,6 кВт;  $\cos \varphi = 0,85$ ;  $K_c = 0,8$ . Допустимая потеря напряжения для рассчитываемого участка сети 4%.

**Решение.**

Определяем расчетную мощность ШР:

$$P_p = K_c \cdot P_{уст} = 0,8 \cdot 28,6 = 22,9 \text{ кВт.}$$

Расчетный ток распределительного шкафа:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} U \cos \varphi} = \frac{22,9}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 40,9 \text{ А}$$

Выбираем по нагреву кабель АВВГ 3х10+1х6 мм<sup>2</sup> с длительно допустимым током 42 А. Фактическая потеря напряжения в кабеле, питающем ШР, определяется по формуле (1.34):

$$\Delta U_{\phi} = 1,73 \cdot 40,9 (3,33 \cdot 0,85 + 0,073 \cdot 0,52) \cdot 0,042 = 8,53 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\phi} \% = \frac{\Delta U_{\phi}}{U_{\phi}} \cdot 100 = \frac{8,53}{380} \cdot 100 = 2,2\%$$

$$\Delta U_{\phi} = 2,2\% < \Delta U_{дон} = 4\%$$

Выбранный по допустимому нагреву кабель удовлетворяет допустимой потере напряжения.

## Литература

1. Правила устройств электроустановок (ПУЭ). С. Пб.: Энергоатомиздат, 2002 г.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок и потребителей. М.: НЦ ЭНАС, 2004.
3. Указания по определению электрических нагрузок в промышленных установках. М.: ВНИИПИ Тяжпромэлектропроект, 1991.
4. Ермилов А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергия, 1983.
5. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 2005.
6. Вахнина В.В. и др. Проектирование систем электроснабжения машиностроительных предприятий: Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. – Тольятти: ТГУ, 2004.
7. ГОСТ 13109—97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения / Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск, 1998.
8. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. РД 34.20.185—94. М.: Энергоатомиздат, 1995.

## Приложение П1. Контрольные работы

### Контрольная работа №1.

#### Определение электрических нагрузок в электроустановках напряжением до 1 кВ методом упорядоченных диаграмм показателей графиков электрических нагрузок

По исходным данным табл. П1.1 и П1.2 в соответствии с вариантом, заданным преподавателем, определить расчетную нагрузку производственного участка, силовых шкафов ШР1 и ШР2. Расчеты выполнить в виде формы табл. 1.4.

Таблица П1.1 - Исходные данные

Номер варианта	Номера потребителей, присоединенных к		Расчетная осветительная нагрузка	
	ШР1	ШР2	$P_{po}$ , кВт	$Q_{po}$ , квар
1	2	3	4	5
0	1-3,11,12,101	71-75	3,5	0,5
1	111-115	101-106	10,5	-
2	1,11,41,81,101	12,13,91,62	28,8	4,6
3	21-26, 31-33	1-5, 91	36,9	14,1
4	111-113,91,1,21	61-63,71,76	54,2	12,3
5	101-103,91,92	81-86	9,5	-
6	7, 14,71-73	21-24,47-49	8,0	-
7	29-30,41	1-4, 11-13	21,5	7,9
8	4,6,8,9,13	28,32,48,61,92	31,8	6,5
9	11-18	21-25,94	4,5	1,1
10	5, 7-10	21,91,102-104	3,9	-
11	2-4, 21-26	5,27,17, 101	14,6	3,5
12	10,11-13, 101	14-16, 91-92	21,8	5,6
13	6, 16, 26-30	31,41,61,71	15,1	2,8
14	14-18, 21-23	81-86,93	3,6	1,2
15	7,8,81,93,101	6,21,41,51,71	5,9	2,3
16	9, 71-73, 104	7,11-14,51	7,8	1,9
17	12, 94, 103-106	1-3, 28-30	5,6	1,5
18	13, 84, 93, 102, 103	12,25, 14,26	3,9	-
19	19,94, 101-105	3-5, 13-15	8,0	-
20	61-64, 71-76	77-80, 101, 91	11,5	-
21	51,62,72,83,93,102	1-4,19,20,30	18,1	4,9
22	30, 65-70	80,85-90,110	13,6	2,5
23	91,92, 101-105	116-120,11	4,5	-
24	2, 15, 22, 38	1, 12-14,35-37	7	-
25	4-6, 16-18	7-10, 101-104	6,5	1.5

**Таблица П1.2**

Номера потребителей	Установленная мощность единичного потребителя, кВт	Наименование потребителей
1-10	7	Токарные станки
11-20	3	Сверлильные станки
21-30	2,5	Точильное оборудование
31-40	10,5	Штамповочные прессы
41-50	14	Строгальные станки
51-60	8,5	Револьверные станки
61-70	2,8	Шлифовальные станки
71-80	4,5	Фрезерные станки
81-90	3,5	Печи сопротивления
91-100	4 кВА	Сварочные трансформаторы
101-110	5	Насосы
111-120	1,5	Вентиляторы

**Контрольная работа №2.****Определение расчетных электрических нагрузок упрощенными методами**

В соответствии с вариантом задания, указанным преподавателем по табл. П1.3, определить расчетную нагрузку распределительной подстанции, от которой питаются три потребителя. Данные потребителей приведены в табл. П.1.4. Результаты расчетов оформить в виде табл. 1.5.

**Таблица П1.3 - Исходные данные**

№ варианта	Установленная мощность цеха (потребителя), кВт						
	Номер цеха по табл. П1.4						
	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8
0	—	2800	—	3600	600	—	—
1	4600	—	1800	—	—	900	—
2	—	—	2500	4000	—	—	100
3	2900	1900	—	—	300	—	—
4	—	—	950	—	—	300	50
5	1850	—	—	2200	—	400	—
6	—	1500	—	—	200	—	30
7	—	—	1400	—	250	500	—
8	3100	2200	—	2900	—	—	—
9	—	—	1000	—	150	300	—
10	2700	—	2100	—	—	—	75
11	—	3000	—	2500	—	700	—
12	—	—	3200	—	185	—	90
13	—	—	—	4500	120	1200	—
14	5200	3600	—	—	—	—	60
15	—	—	5800	3900	—	1100	—
16	—	4200	—	—	280	—	50
17	3500	—	4100	—	—	800	—
18	—	2800	—	5200	—	—	40
19	2100	—	1500	—	120	—	—
20	—	1900	—	2600	—	600	—
21	2800	1800	1100	—	—	—	—
22	—	—	—	4800	400	—	20
23	4100	2600	—	—	—	1300	—
24	—	1500	2000	—	—	600	—
25	1900	—	—	2600	—	—	70

**Таблица П1.4 – Данные потребителей**

№ п/п и номер цеха	Наименование цеха (потребителя)	Длина, ширина, м	Силовая нагрузка		Осветитель-ная нагрузка	
			$K_c$	$\cos \varphi$	$K_{co}$	$P_{уд,уст}$ Вт/м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7
1	Кузнечно-прессовый	120x80	0,25	0,65	0,8	17,6
2	Механосборочный	100x30	0,6	0,75	0,95	25,5
3	Механический	80x50	0,3	0,6	0,85	18,9
4	Главный корпус	75x28	0,5	0,7	0,95	20,1
5	Заводоуправление	35x30	0,8	0,9	0,95	30,0
6	Блок вспомогательных цехов	60x40	0,4	0,5	0,9	19,2
7	Склад	100x50	0,55	0,7	0,8	16,2

### **Контрольная работа №3.**

#### **Выбор сечения проводов и кабелей по допустимому нагреву электрическим током**

Выбрать сечения проводов и жил кабелей по допустимому нагреву электрическим током.

В табл. П1.5 для каждого варианта задания (графа 1) приведены следующие исходные данные: графа 2 - основные технические данные электроприемника ( $p_n$ ;  $U_n$ ;  $\cos\varphi_n$ ,  $\eta_n$ ,  $ПВ$ ), создающего электрическую нагрузку на проводники или конкретное значение величины расчетной нагрузки проводников от группы электроприемников; графа 3 - расчетная температура окружающей среды (воздух, земля), в которой прокладываются проводники; графа 4 - предполагаемая марка провода (кабеля), для которого необходимо выбрать сечение; графа 5 - предполагаемый способ прокладки проводов (кабелей); графа 6 - нормированная (максимальная) температура жил провода (кабеля), исходя из которой приводятся длительно допустимые токовые нагрузки.

**Таблица П1.5 - Задание для контрольной работы**

Вариант	Данные электроприемников					Температура окружающей среды воздуха, земли, °С	Марка провода, кабеля	Способ прокладки проводников	Нормированная температура жид провода, кабеля, °С
	$P_n$ , кВт	$U_n$ , В	$\eta_n$ , %	$\cos\varphi_n$	ПВ %				
	или расчетная нагрузка проводников								
1	2					3	4	5	6
1	0,75	380	73	0,76	100	20	АПВ	на лотках пучком, при общем количестве нагруженных проводов 7	65
2	7,5	380	87,5	0,86	100	30	АПРТО	в пластмассовой трубе четырехпроводной сети	65
3	5,5	380	85	0,7	50	25	АППВС	под штукатуркой	65
4	62 А на напряжение до 1 кВ					35	АВВГ	на стене скобами	65
5	30	380	92	0,87	100	25	АПВ	в коробе многослойно, при общем количестве проводов 12	65
6	100	380	93,5	0,91	100	30	АВВГ	в трубе открыто по стене	65
7	1,5	380	78	0,75	60	15	АПВ	в коробе пучком, при общем количестве проводов 7	65
8	46 А на напряжение 10 кВ					10	АНРГ	в коробе, при прокладке 4 кабелей	65
9	112 А на напряжение до 1 кВ					20	ААШв	в земле, в траншее	80
10	2,2	380	80,5	0,82	40	30	АПВ	по стене скобами	65
11	45	380	92,5	0,89	100	20	АВВГ	в кабельном канале	65

12	1,1	220	-	0,75	100	25	АПВ	в канале плиты перекрытия, двухпроводная сеть	65
13	31 А на напряжение до 1 кВ					15	ААШв	в кабельном канале	80
14	4	380	82	0,81	100	25	АПВ	в металлорукаве четыре провода	65
15	3	380	81	0,76	25	35	АПВ	на лотке, пучком при общем количестве проводов 10	65
16	22 А на напряжение до 1 кВ					30	АПВ	в пластмассовой трубе, четыре провода	65
17	90	380	94	0,89	100	20	ААШв	в земле, в траншее	80
18	11	380	90	0,85	100	25	АПВ	в коробе многослойно при общем количестве проводов 10	65
19	15	380	90	0,89	100	30	АПРТО	в металлической трубе, четырехпроводная сеть	65
20	86 А на напряжение до 1 кВ					20	АВВГ	скобами по строительным конструкциям	65

### Контрольная работа №4.

### Защита электрических сетей и электроприемников напряжением до 1 кВ

1. Рассчитать токи электроприемников и выбрать плавкие предохранители в распределительном шкафу, схема которых приведена на рис. П1.1

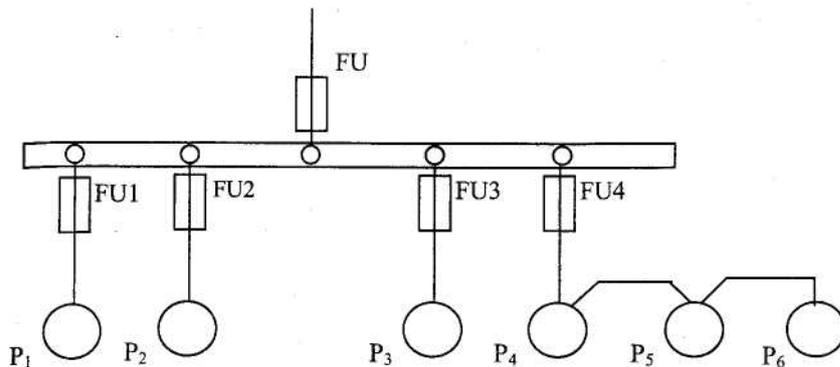


Рисунок П1.1 - Схема распределительной сети

Таблица П1.6 - Исходные данные

№ вар.	P1, кВт	P2, кВт	P3, кВт	P4, кВт	P5, кВт	P6, кВт	cos φ 1	cos φ 2	cos φ 3	cos φ 4	cos φ 5	cos φ 6	K <sub>c</sub>
1	19,6	17,3	3,7	4,3	11,0	9,3	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
2	18,1	14,0	7,3	2,5	16,0	21,0	0,8	0,7	0,7	0,6	0,8	0,7	0,8
3	13,0	19,3	9,2	4,3	7,8	5,9	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,85
4	7,3	14,2	7,0	2,1	23,2	4,5	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,9	0,85
5	9,2	7,3	1,1	0,75	14,5	28,0	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,85
6	4,0	13,5	7,2	3,0	9,8	19,3	0,7	0,7	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
7	17,5	9,2	3,0	2,2	7,3	8,4	0,6	0,6	0,7	0,6	0,8	0,7	0,8
8	3,5	7,1	5,3	2,3	6,1	19,5	0,8	0,7	0,8	0,7	0,6	0,6	0,8
9	8,4	21,3	7,5	4,0	14,6	3,4	0,7	0,6	0,8	0,8	0,6	0,7	0,8
10	11,6	25,3	3,6	0,75	9,3	2,2	0,8	0,7	0,7	0,8	0,6	0,6	0,85
11	10,3	16,1	7,4	3,1	4,9	9,5	0,7	0,7	0,8	0,6	0,6	0,8	0,85
12	17,1	6,3	0,75	0,75	5,7	20,4	0,8	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,85
13	4,0	9,3	2,8	1,7	17,1	14,0	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,6	0,8
14	12,8	7,3	4,1	0,8	19,3	6,5	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
15	Н,5	14,5	10,0	4,1	7,5	2,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8

2. Рассчитать токи электроприемников и выбрать автоматические выключатели в распределительном шкафу серии ПР8501 (рис. П1.2).

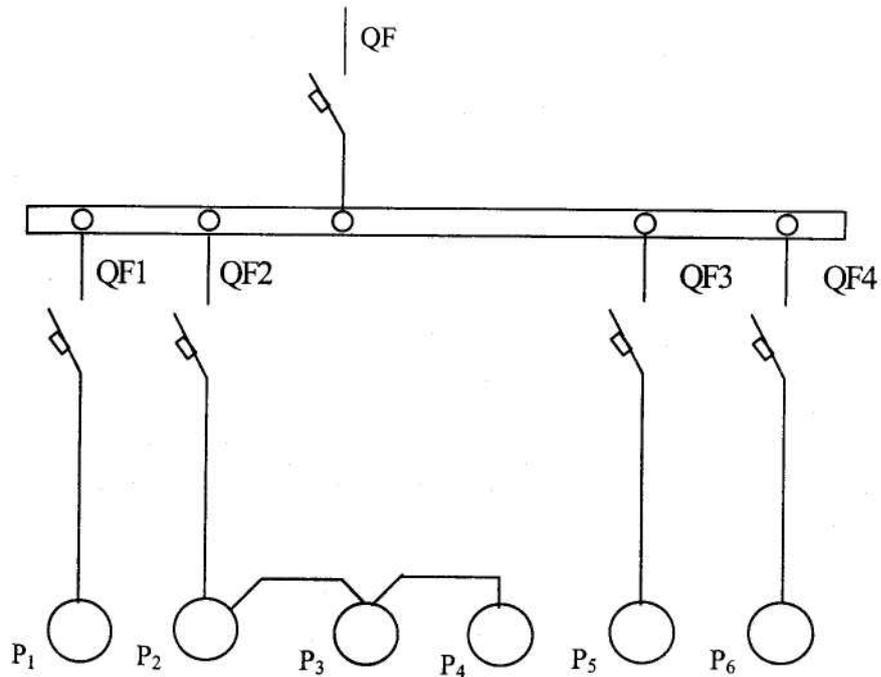


Рисунок П1.2 - Схема распределительной сети

**Таблица П1.7 - Исходные данные**

№ вар.	P1, кВт	P2, кВт	P3, кВт	P4, кВт	P5, кВт	P6, кВт	cos φ 1	cos φ 2	cos φ 3	cos φ 4	cos φ 5	cos φ 6	K <sub>с</sub>
1	16,1	14,3	7,3	2,2	21,3	9,2	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,85
2	3,8	14,0	2,7	4,0	18,5	3,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
3	12,5	10,3	7,5	1Д	5,2	4,0	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,85
4	1,9	7,3	0,73	0,73	19,3	22	0,8	0,6	0,6	0,7	0,8	0,6	0,8
5	19,0	7,5	4,0	2,2	13,0	5,5	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,85
6	4,2	23,1	2,0	2,0	4,9	9,1	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,85
7	13,3	12,0	2,2	1,1	4,9	8,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,6	0,8
8	10,0	7,8	2,7	0,75	3,8	2,2	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
9	23,0	3,0	8,3	0,3	4,8	11,0	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
10	9,3	10,0	3,2	0,75	5,5	18,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,6	0,8
11	7,3	13,5	7,5	3,0	13,0	2,2	0,8	0,7	0,7	0,8	0,6	0,8	0,85
12	14,5	7,5	3,0	0,75	3,5	18,3	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,85
13	10,2	8,5	4,0	0,9	18,0	3,7	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,85
14	8,4	12,6	7,7	3,0	18,5	7,3	0,7	0,8	0,7	0,9	0,8	0,6	0,8
15	15,8	11,0	4,8	2,2	3,9	19,6	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,85

3. Рассчитать ток и выбрать уставки тепловых реле магнитных пускателей для защиты электродвигателей от перегрузки.

**Таблица П1.6 - Технические данные электродвигателей**

№ варианта	Тип электродвигателя	$P_n$ , кВт	$\cos \varphi_n$	$\eta_n$ , %
1	2	3	4	5
1	4A71A4Y3	0,55	0,7	70,5
2	4A71B4Y3	0,75	0,73	72,0
3	4A80A4Y3	1,1	0,81	75,0
4	4A80B4Y3	1,5	0,83	77,0
5	4A90B4Y3	2,2	0,83	80,0
6	4A100S4y3	3,0	0,83	82,0
7	4A100B4Y3	4,0	0,84	84,0
8	4A132B4Y3	7,5	0,86	87,5
9	4A132M4Y3	11,0	0,87	87,5
10	4A16084Y3	15,0	0,88	88,5
11	4A160M4Y3	18,5	0,88	89,5
12	4A18084Y3	22,0	0,9	90,0
13	4A180M4Y3	30,0	0,89	91,0
14	4A200M4Y3	37,0	0,9	91,0
15	4A200B4Y3	45,0	0,90	92,0

## Контрольная работа №5

### Расчет электрических сетей по потере напряжения

Для заданной схемы электрической сети (рис. П1.3) рассчитать сечение жил питающего распределительный шкаф (ШР) кабеля по нагреву электрическим током и проверить выбранное сечение по потере напряжения.

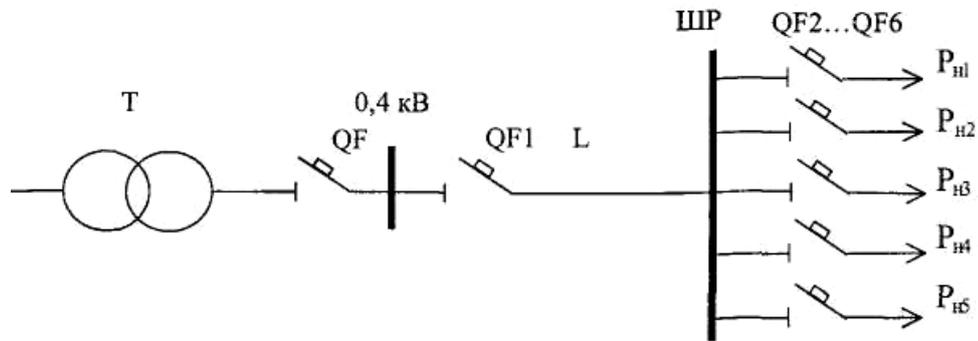


Рисунок П1.3 - Схема электрической сети

Исходные данные для расчета приведены в таблице П1.7.

Таблица П1.7 - Исходные данные

№ вар.	P1, кВт	P2, кВт	P3, кВт	P4, кВт	P5, кВт	cos φ 1	cos φ 2	cos φ 3	cos φ 4	cos φ 5	L	K <sub>c</sub>	$\Delta U_{дон}$
1	7,3	12,7	9,3	24,3	3,5	0,6	0,75	0,8	0,7	0,75	37	0,8	3,5
2	6,5	19,3	4,2	19,5	10,0	0,7	0,75	0,6	0,7	0,8	49	0,85	4
3	14,7	4,3	0,95	9,6	7,9	0,7	0,8	0,85	0,8	0,8	55	0,85	6
4	10,7	4,5	8,0	24,7	12,8	0,75	0,75	0,8	0,6	0,6	35	0,8	5
5	9,8	4,0	13,7	18,5	1,8	0,7	0,75	0,8	0,8	0,6	40	0,8	5,5
6	10,3	17,0	8,4	4,8	16,5	0,75	0,7	0,8	0,6	0,6	68	0,8	4,5
7	12,7	8,4	3,15	9,1	4,8	0,7	0,7	0,85	0,8	0,6	57	0,85	5,2
8	10,5	9,6	24,5	4,0	6,4	0,7	0,75	0,8	0,8	0,6	70	0,8	4,3
9	21,0	9,3	17,7	4,5	7,3	0,6	0,6	0,8	0,85	0,7	65	0,85	5,8
10	18,5	3,7	22,0	4,8	6,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,85	50	0,85	4,6
11	12,6	14,3	7,3	4,5	2,2	0,7	0,6	0,6	0,8	0,7	45	0,85	3,9
12	6,15	9,4	20,5	11,4	2,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	40	0,8	4,4
13	9,6	12,3	4,0	5,5	16,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	73	0,8	5,4
14	16,3	3,7	19,2	4,1	2,1	0,8	0,7	0,6	0,8	0,6	55	0,85	6,2
15	3,0	9,1	14,3	19,0	4,8	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6	60	0,8	4,8