

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Электроэнергетический факультет

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий

Е.Я. Абрамова

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлению подготовки 140400.62 Электроэнергетика и электротехника

Оренбург
2015

УДК 621.31 (075.8)
ББК 31.29 я73(2)
А 16

Рецензент – доцент, канд. техн. наук В.М. Нелюбов

Абрамова, Е.Я.
А 16 Электроснабжение: методические указания к контрольной работе/
Е.Я. Абрамова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург, 2015. – 75 с.

Методические указания содержат контрольные задания по основным вопросам курса «Электроснабжение», теоретический материал, необходимый для решения задач, приведены примеры расчетов. В приложении представлены справочные данные.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 140400.62 Электроэнергетика и электротехника, по профилям «Электрические станции», «Электромеханика».

УДК 621.31 (075.8)
ББК 31.29 я73(2)

© Абрамова Е.Я., 2015
© ОГУ, 2015

Содержание

Введение.....	5
Обозначения и сокращения.....	6
1 Варианты заданий.....	7
2 Методические указания к выполнению задач.....	11
2.1 Методические указания к задаче № 1.....	11
2.2 Методические указания к задаче № 2.....	14
2.3 Методические указания к задаче № 3.....	18
2.4 Методические указания к задаче № 4.....	19
2.5 Методические указания к задаче № 5.....	23
2.5.1 Выбор пунктов питания.....	23
2.5.2 Выбор сечения питающего кабеля.....	23
2.6 Методические указания к задаче № 6.....	25
3 Примеры расчетов.....	31
3.1 Пример к задаче № 1 – расчет трехфазных нагрузок.....	31
3.2 Пример к задаче № 2 – расчет однофазных нагрузок.....	33
3.3 Пример к задаче № 3 – расчет осветительной нагрузки.....	36
3.4 Пример к задаче № 4 – выбор мощности цехового трансформатора.....	40
3.5 Пример к задаче № 5 – выбор пунктов питания и сечений проводов и кабелей.....	42
3.5.1 Выбор пунктов питания.....	42
3.5.1.1 Выбор пунктов питания для нагрузок, рассчитанных в задаче № 1.....	42
3.5.1.2 Выбор пунктов питания для нагрузок, рассчитанных в задаче № 2.....	42
3.5.2 Выбор сечений проводов и кабелей.....	43
3.5.2.1 Выбор высоковольтного кабеля, питающего трансформаторную подстанцию.....	43
3.5.2.2 Выбор сечений кабелей распределительной сети.....	44
3.6 Пример к задаче № 6 – выбор защитной аппаратуры.....	45
3.6.1 Выбор защитной аппаратуры на подстанции.....	45

3.6.2 Выбор защитной аппаратуры, установленной для присоединения ЭП к распределительному ШРА.....	47
Список использованных источников.....	49
Приложение А.....	51
Приложение Б.....	71

Введение

Все расчеты по контрольной работе и пояснения к ним необходимо представить в пояснительной записке, выполненной в соответствии с СТО 02069024.101-2014 [1] на листах формата А4 рукописным способом. Пояснительная записка должна быть написана разборчиво, с указанием применяемых формул, входящих в них величин и размерностей. Принятые решения четко обосновываются. Схемы и чертежи должны выполняться с соблюдением стандартных обозначений.

Пояснительная записка должна содержать следующие структурные элементы:

- титульный лист;
- вариант задания (из таблиц 1-4);
- содержание;
- введение;
- основную часть;
- заключение;
- список использованных источников.

Титульный лист контрольной работы приведен в приложении В.

Обозначения и сокращения

БПВ – блок «предохранитель-выключатель»

ДРИ – дуговая ртутная лампа с добавками йода

ДРЛ – дуговая ртутная лампа

КЗ – короткое замыкание

КСС – кривая силы света

КТП – комплектная трансформаторная подстанция

ЛЛ – люминесцентная лампа

ПВ – продолжительность включения

РУ – руководящие указания

ШРА – шинопровод распределительный с алюминиевыми шинами

ШРМ – шинопровод распределительный с медными шинами

ШРС – шкаф силовой распределительный

ШС – силовой шкаф

ЭП – электроприемник

1 Варианты заданий

Таблица 1 – Варианты заданий к задаче № 1

Наименование оборудования	Установленная мощность, P , кВт	Количество электроприемников (ЭП) по вариантам, шт.																				κ_u	$\cos\varphi$	$I_{пуск} / I_{ном}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
Станки разные с нормальным режимом работы	3,8	2	1	3	1	2	1	-	2	-	1	1	1	-	1	2	1	-	1	-	2	0,14	0,68	5,5
	0,6	3	4	2	3	4	2	3	1	4	2	3	1	3	4	1	2	3	1	4	2			
	2,95	1	2	1	2	-	1	1	2	-	1	-	1	1	2	-	1	1	-	2	1			
	4,5	2	1	2	1	2	3	1	1	2	-	3	2	1	-	4	2	1	3	-	2			
	2,8	2	3	2	2	1	2	3	-	1	2	1	-	2	-	1	-	1	2	1	-			
Станки разные с тяжелым режимом работы	7,0	1	2	-	1	1	-	1	2	1	1	-	1	1	2	1	1	-	1	1	-	0,22	0,7	5
	1,0	2	1	2	-	1	-	1	2	-	1	1	1	-	1	1	2	1	-	1	1			
	2,8	-	1	1	1	1	1	-	1	1	-	1	-	1	-	1	2	1	1	-	1			
	4,9	1	-	1	1	-	1	1	-	2	2	-	1	1	2	-	1	2	1	1	-			
	7,725	1	2	-	1	1	-	1	-	2	1	1	1	-	1	-	-	1	1	-	1			
Молоты, прессы	10,0	1	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	0,25	0,67	6,0
	4,5	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	1			
	10	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-			
Подъемно-транспортные механизмы $ПВ = 25\%$	7,3	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	0,15	0,65	6,5
	2,8	-	2	-	-	-	-	1	-	-	2	-	-	1	-	1	-	-	1	-	-			
	2,0	-	-	-	1	-	-	1	2	-	-	1	-	1	-	-	2	-	-	1	-			
	4,85	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-			
Вентиляторы	4,5	1	-	-	2	-	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	1	-	0,8	0,7	5,5
	2,8	-	2	-	-	1	-	-	-	1	-	1	-	1	2	-	-	1	-	-	-			
	7,0	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	1	-	1			
	1,7	1	-	1	-	-	2	-	-	-	-	1	1	1	-	-	1	1	-	1	-			

Таблица 2 – Варианты заданий к задаче № 2

Наименование ЭП	$P_{ном}, \text{кВт}$	$U_{ном}, \text{В}$	Количество ЭП по вариантам, шт.																				κ_u	$\text{Cos}\varphi$	$I_{пуск} / I_{ном}$
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
Сварочный агрегат	14,0	3-х фаз.	1	2	1	-	1	-	2	1	-	1	1	2	-	1	2	1	-	2	1	1	0,3	0,6	
Преобразова-тель сварочный	4,0	3-х фаз.	1	1	1	2	-	1	-	2	1	1	1	-	2	1	-	1	2	1	-	1	0,3	0,62	
Машина электро-свароч-ная то-чечная $ПВ = 40\%$	50 кВА	$U_{ном} = U_L = 380$	2	1	2	3	2	1	1	-	1	-	1	1	1	2	1	-	1	-	2	1	0,3	0,61	
Машина электро-свароч-ная сты-ковая	25 кВА	$U_{ном} = U_\phi = 220$	1	-	1	1	2	2	1	1	2	1	-	1	1	-	2	1	1	-	1	1	0,3		
Машина электро-свароч-ная шов-ная	50 кВА	$U_{ном} = U_L = 380$	1	1	-	-	1	1	2	1	-	2	2	-	-	1	-	2	1	2	-	1	0,3		
Кран-балка	2,8	3-х фаз.	1	1	1	1	-	1	1	2	1	-	1	1	1	-	1	1	2	1	1	1	0,15	0,85	6,5
Вентиляторы	7,0	3-х фаз.	2	1	1	1	2	1	2	1	-	1	2	1	2	1	2	1	1	2	-	1	0,6	0,72	6
	4,5		1	1	2	1	1	2	-	2	2	1	-	2	1	1	2	1	2	1	2	2			
Шкаф сушиль-ный	4,0	1-о фаз. 220	-	1	1	2	1	1	2	-	1	1	1	-	1	2	-	1	1	1	-	1	0,4	0,95	
Электропечь со-противления	45	1-о фаз. $U_L = 380$	1	-	-	1	1	1	-	1	-	1	-	1	1	-	1	-	1	1	-	-	0,5	0,9	
	15		-	2	-	-	-	1	-	1	-	1	-	1	1	-	1	-	1	-	1	1			
	70		-	-	1	-	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	2	-	1	-	1			
	30		1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-			
Муфельная печь	2,2	1-о фаз. $U_\phi = 220$	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	-	1	1	1	0,4	0,92	
Тельфер $ПВ = 25\%$	0,85	3-х фаз.	1	1	1	1	2	1	1	-	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	0,25	0,87	6
Печь нагрева-тельная камерная	18,75	1-о фаз. $U_\phi = 220$	-	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	0,4	0,95	
	45	1-о фаз. $U_L = 380$	1	-	-	-	1	2	-	-	1	1	2	-	2	2	1	1	1	2	1	1			

Таблица 3 – Варианты заданий к задаче № 3

Габаритные размеры цеха, м	Размеры по вариантам																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Длина	54	66	54	60	72	78	60	72	54	72	78	66	60	72	78	84	78	60	66	72
Ширина	36	36	24	36	36	36	24	54	24	36	36	36	24	36	36	36	54	24	36	36
Ширина пролета	12	18	12	18	18	18	12	18	12	18	18	12	12	18	12	18	18	12	18	18
Высота	10	10,5	11	12	10	11	12	10,5	11	12	12,5	10	8	11	12	10,5	11	12	10	11

Таблица 4 – Варианты заданий к задаче № 4

Наименование характерных групп ЭП	Ном. мощности ЭП при ПВ = 100%, $P_{ном}$, кВт	Суммарные номинальные мощности групп ЭП по вариантам, $\sum P_{ном_i}$																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Станки	0,6÷40,0	324	408	289	735	520	402	380	290	385	420	258	620	550	267	379	215	570	625	401	386	
Прессы	4,5÷10	70	62	50	82	88	70	65	45	50	70	20	40	20	70	29	18	50	70	20	50	
Молоты	4,5÷10	20	10	10	19	20	20	10	20	10	20	19	27	10	20	9	28	50	18	20	10	
Термическое оборудование	1,1÷70,0	128	85	150	138	150	131	127	150	92	120	170	112	98	79	121	175	120	150	202	180	
Сварочное оборудование	4,0÷29,8	81	127	180	220	180	170	150	208	115	125	92	150	200	210	178	130	97	152	180	138	
Выпрямители	7,0÷10,0	10	7	17	10	17	10	10	10	-	-	10	7	17	-	-	7	17	10	10	7	
Подъемно-транспортное оборудование	0,85÷18,0	56	62	82	125	130	120	98	87	58	61	85	103	120	97	85	37	86	105	77	90	
Вентиляторы	1,7÷10,0	49	51	67	92	95	87	85	59	52	68	39	80	98	105	62	59	74	88	91	58	
Категории бесперебойности электропитания, %	I		20	20	10	20	20	20	20	30	20	40	20	10	20	20	10	30	10	20	10	20
	II		20	30	30	30	20	30	10	10	30	10	20	20	10	20	20	20	30	20	20	20
	III		60	50	60	50	60	50	70	60	50	50	60	70	70	60	70	50	60	60	70	60
Напряжение питания, кВ		10,5	10,5	6,3	10,5	6,3	10,0	10,0	6,3	10,5	10,5	10,5	6,3	10,5	6,3	10,5	10,5	10,5	6,3	10,5	10,5	

2 Методические указания к выполнению задач

2.1 Методические указания к задаче № 1

Расчет силовых нагрузок ведется методом коэффициента расчетной нагрузки в соответствии с руководящими указаниями (РУ) [2]. Определение расчетных нагрузок выполняется по форме Ф 636-92 (таблица А.1 приложения А). Согласно этому документу, расчет электрических нагрузок ЭП напряжением до 1 кВ производится для каждого узла питания (силового шкафа (ШС), распределительного шинпровода (ШРА), цеха в целом) в следующем порядке:

1. Исходные данные для расчета вписываются в графы 1-4 (таблица Б.1 приложения Б) на основании полученного индивидуального задания (таблица 1), причем номинальные мощности всех ЭП, $P_{ном}$, должны быть приведены к длительному режиму работы ($ПВ = 100\%$) по одной из формул:

$$P_{номПВ=100\%} = P_{номПВнасп} \cdot \sqrt{ПВ} \quad (1)$$

или

$$P_{номПВ=100\%} = S_{номПВнасп} \cdot \cos\varphi_{ном} \cdot \sqrt{ПВ} \quad (2)$$

Здесь же определяется суммарная активная номинальная мощность ЭП, $\sum P_{ном_i}$, и записывается в итоговой строке.

2. Графы 5-6, в которых приводятся коэффициенты использования, κ_u , и коэффициенты мощности, $\cos\varphi$ ($\operatorname{tg}\varphi$), заполняются по справочным данным [4], а также по таблицам А.2-А.3 приложения А. При расчете все ЭП группируются по характерным категориям с одинаковыми κ_u и $\cos\varphi$ ($\operatorname{tg}\varphi$).

3. В графы 7-8 записываются величины сменных мощностей $P_{см}$ и $Q_{см}$, определяемые по формулам:

$$P_{см_i} = \kappa_{u_i} \cdot P_{ном_i} \quad (3)$$

$$Q_{см_i} = P_{см_i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i \quad (4)$$

В итоговой строке указываются суммарные значения сменных мощностей $\sum P_{см_i}$ и $\sum Q_{см_i}$.

4. Определяется групповой коэффициент использования $\kappa_{уз}$ для каждого узла питания по формуле:

$$\kappa_{уз} = \frac{\sum_{i=1}^n \kappa_{u_i} \cdot P_{ном_i}}{\sum_{i=1}^n P_{ном_i}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{см_i}}{\sum_{i=1}^n P_{ном_i}}, \quad (5)$$

где $\sum P_{ном_i}$ – суммарная номинальная мощность всех ЭП данного узла, кВт.

Значение $\kappa_{уз}$ заносится в графу 5 итоговой строки.

5. Для определения эффективного числа ЭП, $n_э$, в графе 9 построчно для каждой характерной категории ЭП одинаковой мощности определяются величины $n \cdot P_{ном_i}^2$ и в итоговой строке – их суммарное значение:

$$\sum_{i=1}^n n \cdot P_{ном_i}^2 \quad (6)$$

6. Величина $n_э$, заносимая в графу 10, определяется по выражению:

$$n_э = \frac{(\sum P_{ном_i})^2}{\sum n \cdot P_{ном_i}^2} \quad (7)$$

Найденное по формуле (7) значение $n_э$ округляется до ближайшего целого меньшего числа. Если найденное число $n_э > n$, то следует принимать $n_э = n$.

Графа 10 и все последующие графы заполняются только для узла в целом итоговой строкой.

7. В зависимости от группового коэффициента использования, $\kappa_{иг}$, и эффективного числа ЭП, $n_{э}$, по таблице А.1 приложения А определяется коэффициент расчетной нагрузки κ_p и заносится в графу 11.

8. Расчетная активная мощность P_p подключенных к узлу питания ЭП напряжением до 1 кВ (графа 12) определяется по выражению:

$$P_p = \kappa_p \cdot \sum \kappa_{u_i} \cdot P_{ном_i} = \kappa_p \cdot \sum P_{см_i} \quad (8)$$

Если расчетная мощность P_p оказывается меньше номинальной мощности наиболее мощного ЭП, следует принимать:

$$P_p = P_{ном \max} \quad (9)$$

Результат расчета вносится в графу 12.

9. Расчетная реактивная мощность Q_p определяется по одной из формул:

а) при $n_{э} \leq 10$

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum \kappa_{u_i} \cdot P_{ном_i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (10)$$

б) при $n_{э} > 10$

$$Q_p = Q_{см} = \sum \kappa_{u_i} \cdot P_{ном_i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (11)$$

Результат вносится в графу 13.

10. Полная расчетная мощность S_p определяется по выражению:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (12)$$

Результат заносится в графу 14.

11. Значение расчетного тока (графа 15) определяется по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (13)$$

Следует обратить внимание на то, что, если количество ЭП, присоединенных к узлу, не превышает трех ($n \leq 3$), то расчетная мощность этого узла равна суммарной номинальной мощности ЭП данного узла:

$$P_p = \sum_{i=1}^3 P_{ном_i} \quad (14)$$

Пример расчета трехфазной нагрузки для ЭП до 1 кВ приведен в таблице Б.3 приложения Б.

2.2 Методические указания к задаче № 2

Рассмотренный выше алгоритм расчета подойдет и для определения однофазных нагрузок. Различие заключается в том, что электрические нагрузки ЭП однофазного тока должны быть распределены равномерно по фазам. Однофазные ЭП, включенные на фазное и линейное напряжения, и распределенные по фазам с неравномерностью $P_{номф}$ не выше 15% по отношению к общей мощности трехфазных и однофазных ЭП в группе, учитываются, согласно [2, 3], как трехфазные ЭП той же суммарной мощности.

Если неравномерность превышает 15%, то нагрузка принимается равной утроенной величине наиболее загруженной фазы.

$$P_{\text{норму3-x}} = 3 \cdot P_{\text{ном max } \phi} \quad (15)$$

Неравномерность нагрузки в %, $\Delta P_{\text{ном}\phi}$, определяется по формуле:

$$\Delta P_{\text{ном}\phi} \% = \frac{P_{\text{ном max } \phi} - P_{\text{ном min } \phi}}{P_{\text{ном min } \phi}} \cdot 100 \quad (16)$$

Если к данному узлу присоединена еще и трехфазная нагрузка, то:

$$\Delta P_{\text{ном}\phi} \% = \frac{P_{\text{ном max } \phi} - P_{\text{ном min } \phi}}{P_{\text{ном min } \phi} + \frac{1}{3} \sum P_{\text{ном}}} \cdot 100, \quad (17)$$

где $\sum P_{\text{ном}}$ – суммарная трехфазная мощность, присоединенная к данному узлу, кВт.

При числе однофазных ЭП до трех ($n \leq 3$) условная трехфазная номинальная мощность (она же и расчетная) определяется следующим образом:

а) при включении ЭП на фазное напряжение:

$$P_{\text{норму3-x}} = P_p = 3 \cdot P_{\text{ном max } \phi} \quad (18)$$

или

$$P_{\text{норму3-x}} = 3 \cdot S_{\text{номПВпасп}} \cdot \cos \phi \cdot \sqrt{ПВ} = 3 \cdot P_{\text{ном max } \phi}, \quad (19)$$

где $P_{\text{норму3-x}}$ – условная трехфазная номинальная мощность, кВт;

$P_{\text{ном max } \phi}$ – номинальная мощность максимально загруженной фазы, кВт;

$S_{\text{номПВпасп}}$ – номинальная мощность с паспортной ПВ, кВА;

$ПВ$ – продолжительность включения в долях единицы по паспортным данным.

б) при включении однофазных ЭП на линейное напряжение:

- при одном ЭП:

$$P_{ному3-x} = \sqrt{3} \cdot P_{номл}, \quad (20)$$

где $P_{номл}$ – номинальная мощность нагрузки, подключенной на линейное напряжение, кВт.

- при двух и трех ЭП:

$$P_{ному3-x} = 3 \cdot P_{ном \max \phi} \quad (21)$$

или

$$P_{ному3-x} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{P_{ном1}^2 + P_{ном2}^2 + P_{ном1} \cdot P_{ном2}}, \quad (22)$$

где $P_{ном1}$, $P_{ном2}$ – номинальные мощности наиболее нагруженных плеч трехфазной сети, кВт

При числе однофазных ЭП больше трех и одинаковых (или близких к ним) значениях κ_u и $\cos\phi$ данных ЭП, включенных на фазное и линейное напряжения, расчетная нагрузка определяется по выражению:

$$P_p = \kappa_p \cdot 3 \cdot \sum (\kappa_u \cdot P_{ном \max \phi}), \quad (23)$$

где κ_u и $P_{ном \max \phi}$ – коэффициент использования и номинальная мощность взяты для наиболее загруженной фазы.

При этом номинальные нагрузки по фазам определяются упрощенно:

$$P_{номА} = \frac{P_{номАВ} + P_{номАС}}{2} + P_{номА0}, \quad (24)$$

$$P_{номВ} = \frac{P_{номВС} + P_{номАВ}}{2} + P_{номВ0}, \quad (25)$$

$$P_{номС} = \frac{P_{номАС} + P_{номВС}}{2} + P_{номС0}, \quad (26)$$

где $P_{номАВ}$, $P_{номАС}$, $P_{номВС}$ – номинальные нагрузки, присоединенные на линейные напряжения, кВт;

$P_{номА0}$, $P_{номВ0}$, $P_{номС0}$ – номинальные нагрузки, присоединенные на фазные напряжения, кВт.

При разных $\cos\varphi$ номинальные нагрузки по фазам определяются с использованием коэффициентов приведения [2], (таблица А.4 приложения А).

Для нахождения группового $\kappa_{иг}$ определяется сменная мощность для каждой из фаз:

$$P_{сМА} = \kappa_u \cdot P_{номА} \quad (27)$$

$$P_{сМВ} = \kappa_u \cdot P_{номВ} \quad (28)$$

$$P_{сМС} = \kappa_u \cdot P_{номС} \quad (29)$$

Средневзвешенное значение $\kappa_{иг}$ определяется для наиболее загруженной фазы, например, для фазы С:

$$\kappa_{игС} = \frac{P_{сМС}}{\frac{P_{номВС} + P_{номАС}}{2} + P_{номС0}} \quad (30)$$

Для однофазных ЭП величина $n_э$ определяется по формуле:

$$n_э = \frac{2 \cdot \sum P_{ном0}}{3 \cdot P_{ном0\max}}, \quad (31)$$

где $\sum P_{ном0}$ – сумма номинальных мощностей однофазных ЭП данного расчетного узла, кВт;

$P_{ном0max}$ – номинальная мощность наибольшего однофазного ЭП этого узла., кВт.

По найденным значениям $\kappa_{из}$ и $n_{э}$ определяется коэффициент расчетной нагрузки κ_p (по таблице 2 приложения) и расчетная нагрузка по формуле:

$$P_p = \kappa_p \cdot 3 \cdot P_{см\max\phi} \quad (32)$$

Далее расчет ведется как для трехфазных нагрузок (см. задачу № 1).

Результаты расчета сводятся в таблицу Б.2 приложения Б.

Пример расчета однофазной нагрузки для ЭП до 1 кВ приведен в разделе 3.2.

2.3 Методические указания к задаче № 3

В данной задаче расчет освещения цеха сводится к определению расчетных осветительных нагрузок. При этом предполагают, что расчет ведется только для системы общего равномерного освещения. Площадь цеха и его высота приведены в исходных данных (таблица 3). Источники света, типы светильников и коэффициенты отражения от стен, потолка и рабочих поверхностей принять самим. Нормируемую освещенность взять из норм проектирования в зависимости от производимых работ [5, 11], (таблица А.7 приложения А). Расчет осветительной нагрузки можно вести как методом коэффициента использования светового потока, так и методом удельной мощности.

При расчете методом коэффициента использования светового потока определяется количество ламп и их мощность, тогда расчетная мощность осветительной установки определяется по формуле:

$$P_{роц} = P_{номл} \cdot N_l \cdot \kappa_c, \quad (33)$$

где $P_{номл}$ – номинальная мощность лампы, Вт;

N_l – количество ламп;

κ_c – коэффициент спроса, определяется по таблице А.5 приложения А, [8].

Если расчет ведется по методу удельной мощности, то расчетная мощность осветительной установки будет определяться по формуле:

$$P_{роц} = p_{удо} \cdot F_{ц}, \quad (34)$$

где $p_{удо}$ – удельная мощность осветительной установки, Вт/м² (таблицы А.12-А.14 приложения А);

$F_{ц}$ – площадь помещения, м².

При выборе в качестве источников света газоразрядных ламп следует учесть и реактивную составляющую этих нагрузок:

- для люминесцентных ламп (ЛЛ) $\cos \varphi = 0,92 \div 0,96 (\tan \varphi = 0,329)$

- для дуговых ртутных ламп (ДРЛ) $\cos \varphi = 0,56 \div 0,6 (\tan \varphi = 1,333)$

Тогда реактивная мощность осветительной установки:

$$Q_{роц} = P_{роц} \cdot \tan \varphi \quad (35)$$

Примеры расчета осветительной установки приведены в разделе 3.3.

2.4 Методические указания к задаче № 4

Для выбора мощности цехового трансформатора следует определить расчетную нагрузку цеха, которая складывается из силовой и осветительной нагрузок.

Для активной составляющей:

$$P_{рц} = P_{рсц} + P_{роц}, \quad (36)$$

где $P_{рсц}$ – расчетная активная мощность силовых установок цеха (таблица Б.5 приложения Б), кВт;

$P_{роц}$ – расчетная активная мощность осветительной установки (из задачи № 3), кВт.

Для реактивной составляющей:

$$Q_{рц} = Q_{рси} + Q_{роц}, \quad (37)$$

где $Q_{рси}$ – расчетная реактивная мощность силовых установок цеха (из таблицы), кВАр;

$Q_{роц}$ – расчетная реактивная мощность осветительной установки (из задачи 3), кВАр.

Расчет силовых нагрузок по цеху в целом ведется аналогично расчету, приведенном в задаче 1, и в той же последовательности. Перечень цехового оборудования приведен в задании. Так как число ЭП в цехе значительно, $n_э$ в соответствии с РУ [2] может определяться по упрощенной формуле:

$$n_э = \frac{2 \cdot \sum P_{ном_i}}{P_{ном\ max}}, \quad (38)$$

где $\sum P_{ном_i}$ – сумма всех номинальных мощностей ЭП, установленных в цехе, кВт;

$P_{ном\ max}$ – номинальная мощность наибольшего ЭП цеха, кВт.

Коэффициент расчетной мощности при определении цеховой нагрузки принимается по таблице А.6 приложения А.

При определении мощности цеховых трансформаторов обычно в качестве расчетной мощности на трансформатор рекомендуют принимать мощность наиболее загруженной смены: $P_{см}$, $Q_{см}$, которые приведены также в таблице Б.5 приложения Б.

Для осветительных нагрузок принимается:

$$P_{роц} = P_{смоц} \quad (39)$$

$$Q_{роц} = Q_{смоц} \quad (40)$$

Тогда расчетная мощность цехового трансформатора определяется из выражения:

$$S_{трасч} = \frac{\sqrt{(P_{смсц} + P_{смоц})^2 + (Q_{смсц} + Q_{смоц})^2}}{n_m \cdot k_3} = \frac{S_{смц}}{n_m \cdot k_3}, \quad (41)$$

где n_m – количество трансформаторов на цеховой трансформаторной подстанции, определяется категорией потребителей;

k_3 – коэффициент загрузки трансформаторов, который согласно [7] принимается:

0,65 – 0,7 при преобладании нагрузок I и II категорий;

0,7 – 0,8 при преобладании нагрузок II категории;

0,9 – 0,95 при преобладании нагрузок II категории при наличии централизованного (складского) резерва трансформаторов, а также при нагрузках III категории при однострансформаторных подстанциях.

Полученная расчетная мощность трансформатора округляется до стандартного значения, $S_{номт}$.

Выбранный трансформатор следует проверить на перегрузочную способность по [6] по условиям систематической и аварийной перегрузки:

$$n_m \cdot S_{номт} \cdot k_{2сист} \geq S_{расч}, \quad (42)$$

$$S_{номт} \cdot k_{2ав} \geq S_{расчI+II}, \quad (43)$$

где $k_{2сист}$ – коэффициент систематической перегрузки;

$k_{2ав}$ – коэффициент аварийной перегрузки;

$S_{расчI+II}$ – расчетная мощность потребителей I и II категорий, кВА.

Оба эти коэффициента перегрузки определяются по соответствующим таблицам систематических и аварийных перегрузок по [6] в зависимости от системы охлаждения трансформатора (С, М, Д, ДЦ), температуры окружающей среды $\Theta^{\circ}\text{C}$, коэффициента предшествующей нагрузки κ_1 и от продолжительности перегрузки, h .

Система охлаждения трансформатора определяется в зависимости от типа выбранного трансформатора (этот выбор и его обоснование сделать самостоятельно), коэффициент предшествующей нагрузки κ_1 при отсутствии графика определяется для худшего варианта:

$$\kappa_{1\max} = \frac{S_{смц}}{n_m \cdot S_{номт}} \quad (44)$$

Расчетную суточную продолжительность аварийной перегрузки в соответствии с [7] принимать:

- при односменной работе 4 часа;
- при двухсменной – 8 часов;
- при трехсменной – 12-24 часа.

Допустимые аварийные перегрузки определять по [6] с учетом вида их установки:

- для трансформаторов, установленных на открытом воздухе – в зависимости от эквивалентной годовой температуры охлаждающего воздуха района размещения подстанции - $\Theta^{\circ}\text{C}$ района;

- для трансформаторов, установленных в закрытых камерах или в неотапливаемых помещениях – при эквивалентной годовой температуре 10°C ;

- для внутрицеховых подстанций, установленных в отапливаемых помещениях – при эквивалентной годовой температуре 20°C .

2.5 Методические указания к задаче № 5

2.5.1 Выбор пунктов питания

В зависимости от расположения оборудования в цеху (компактно, рядами и т.д.) питание ЭП выполняется от ШС или ШРА, марки которых выбираются по справочной литературе [10, 12].

Для подключения ЭП, располагающихся рядами, целесообразно использовать распределительные ШРА, для подключения ЭП, расположенных компактно, удобнее использовать ШС – ШР 11, СП 62, СПУ 62, ПР 11, ПР 24 и т.д., которые могут быть укомплектованы как предохранителями, так и автоматическими выключателями (см. справочные данные [10, 12], а также таблицы А.15-А.22 приложения А).

2.5.2 Выбор сечения питающего кабеля

Сечение высоковольтного кабеля, питающего трансформаторную подстанцию, выбирается по экономической плотности тока:

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{ЭК}}}, \quad (45)$$

где $I_{\text{расч}}$ - расчетный ток на стороне высокого напряжения трансформатора, А;

$j_{\text{ЭК}}$ – определяется по справочной литературе [13] в зависимости от конструкции сети, времени использования максимальной нагрузки, изоляции, материала проводника, а также района проектируемого объекта.

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{расч}}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}}, \quad (46)$$

где $S_{\text{расч}}$ – расчетная нагрузка цеховой трансформаторной подстанции на стороне высокого напряжения, кВА;

n – количество кабелей;

$U_{вн}$ – напряжение питающей сети (6, 10 кВ).

Выбранное сечение проверяется по следующим условиям:

1) по аварийному режиму

$$I_{доп} \geq I_{ав}, \quad (47)$$

где $I_{ав}$ определяется по одной из формул:

$$I_{ав} = 2 \cdot I_{расч} \quad (48)$$

или

$$I_{ав} = \frac{\kappa_{2ав} \cdot S_{номт}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} \quad (49)$$

2) по термической стойкости (если известен ток короткого замыкания (КЗ))

$$F_{\min терм} = \frac{\sqrt{B_{\kappa}}}{C} \quad (50)$$

3) по потере напряжения (если известна длина)

$$\Delta u \% = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l (r_{пл} \cdot \cos \varphi + x_{пл} \cdot \sin \varphi)}{U_{ном}} \cdot 100 \quad (51)$$

Провода и кабели к пунктам питания и к отдельным ЭП могут прокладываться открыто по стенам зданий, потолкам, на тросах, изоляторах, в лотках, трубах, коробках, гибких металлорукавах и т.п., а также скрыто – внутри конструктивных элементов зданий, сооружений.

Сечения проводов и кабелей, а также ШРА выбираются по нагреву:

$$I_{доп} \geq I_{расч} \quad (52)$$

ШРА проверяются по потере напряжения (формула (46)).

Кроме того, ШРА должны быть проверены на динамическую стойкость по условию:

$$i_{дин} \geq i_{урасч}, \quad (53)$$

где $i_{дин}$ – ударный ток КЗ, на который рассчитаны ШРА (из справочных данных [8, 10]), кА;

$i_{урасч}$ – ударный ток КЗ, расчетный, кА.

Примеры расчетов высоковольтного кабеля, ШРА и кабелей к ЭП приведены в разделе 3.

2.6 Методические указания к задаче № 6

Аппараты защиты на цеховой трансформаторной подстанции выбираются в комплекте с трансформаторами в соответствии с заказной спецификацией [10, 12].

ШС идут в комплекте с теми защитными аппаратами, которые указываются в паспорте, то же относится и к распределительным ШРА.

При этом следует учитывать, что во всех случаях, когда не требуется автоматического восстановления питания, рекомендуется применять предохранители с наполнителем и рубильником или блок «предохранитель-выключатель» (БПВ).

Плавкий предохранитель предназначен для защиты ЭП от токов КЗ. и перегрузок, рубильник – для обеспечения видимого разрыва.

Выбор предохранителя производится согласно [9] по нескольким условиям:

1. По номинальному напряжению:

$$U_{ном} = U_{номс} \quad (54)$$

2. По номинальному току:

$$I_{номпр} \geq I_{расч} \quad (55)$$

3. По номинальному току плавкой вставки:

$$I_{номпр} \geq I_{встном} \quad (56)$$

4. По отключающей способности:

$$I_{отклном} \geq I_{n0}, \quad (57)$$

где I_{n0} – значение периодической слагающей тока КЗ для $t = 0$, кА.

5. Плавкую вставку для инерционных предохранителей выбирают по длительно допустимому току линии:

$$I_{встном} \geq I_{доп}, \quad (58)$$

Плавкую вставку для безинерционных предохранителей выбирают с учетом следующих условий:

$$I_{встном} \geq I_{расч}, \quad (59)$$

$$I_{встном} \geq \frac{I_{пуск}}{K_{пер}}, \quad (60)$$

где $I_{пуск}$ – пусковой ток ЭП, А;

$K_{пер}$ – коэффициент перегрузки, учитывающий превышение тока двигателя сверх номинального значения в режиме пуска и принимаемый 1,6–2 для тяжелых и 2,5 для средних и легких условий пуска.

Для группы электродвигателей вместо пускового тока принимают пиковый ток, А:

$$I_{\text{пик}} = i_{\text{пуск max}} + (I_{\text{расч}} - K_u \cdot I_{\text{ном max}}) \quad (61)$$

Номинальный ток плавкой ставки для защиты ответвления, идущего к сварочному аппарату, выбирается из соотношения:

$$I_{\text{встном}} = 1,2 \cdot I_{\text{свном}} \cdot \sqrt{ПВ}, \quad (62)$$

где $I_{\text{свном}}$ – номинальный ток сварочного аппарата при номинальной (паспортной) продолжительности включения, А;

$ПВ$ – продолжительность включения сварочного аппарата в относительных единицах

6. Предохранители проверяются на допустимый нагрев при протекании сквозных токов КЗ по условию:

$$I_{\text{встном}} \leq 3 \cdot I_{\text{доп}}, \quad (63)$$

где $I_{\text{доп}}$ - допустимый ток провода или кабеля, защищаемого предохранителем.

7. Предохранители проверяются на ограничение пропускной способности выбранного сечения проводника по условию:

$$I_{\text{встном}} \geq I_{\text{доп}} \quad (64)$$

то есть

$$I_{\text{доп}} \leq I_{\text{встном}} \leq 3 \cdot I_{\text{доп}} \quad (65)$$

8. Предохранители проверяются по коэффициенту чувствительности действия к токам КЗ:

$$K_{\text{ч}}^{(3)} = \frac{I_{\text{кз min}}^{(3)}}{I_{\text{встном}}} \geq 1,5, \quad (66)$$

где $I_{кз\ min}^{(3)} = (0,8 - 0,9) \cdot I_{кз}^{(3)}$, кА.

$$k_{ч}^{(1)} = \frac{I_{кз\ min}^{(1)}}{I_{встном}} \geq 3, \quad (67)$$

где $I_{кз\ min}^{(1)} = (0,8 - 0,9) \cdot I_{кз}^{(1)}$, кА;

Для пожаро- и взрывоопасных помещений $k_{ч} \geq 4$.

Выбор автоматических выключателей производится согласно [9] по условиям:

$$U_{нома} \geq U_{номс}, \quad (68)$$

$$I_{нома} \geq I_{расч}, \quad (69)$$

$$I_{откном} \geq I_{п0} \quad (70)$$

Ток срабатывания расцепителя любого типа выбирается по расчетному току из условий:

$$I_{сртр} \geq I_{расч}, \quad (71)$$

$$I_{срэр} \geq I_{расч}, \quad (72)$$

где $I_{сртр}$ – ток срабатывания теплового расцепителя, А;

$I_{срэр}$ – ток срабатывания электромагнитного расцепителя, А.

Кроме того, для электромагнитного расцепителя должно выполняться условие:

$$I_{срэр} \geq k_{защ} \cdot I_{пуск} \quad (73)$$

где $\kappa_{защ}$ – коэффициент защиты, который указывается в справочной литературе [8].

Найденные значения $I_{сртр}$ и $I_{срэп}$ округляются до стандартных значений, которые также берутся из справочной литературы [14] или из таблиц А.17-А.22 приложения А.

При определении токов срабатывания расцепителей должны быть учтены коэффициенты разброса κ_p и надежности κ_n , которые могут быть следующими: $\kappa_p = 1,0 - 1,1$; $\kappa_n = 1,1 - 1,3$, то есть:

$$I_{сртр} \geq \kappa_p \cdot \kappa_n \cdot I_{расч}, \quad (74)$$

$$I_{срэп} \geq \kappa_p \cdot \kappa_n \cdot I_{расч} \quad (75)$$

Автоматы должны быть проверены по чувствительности к токам КЗ:

$$\kappa_{ч}^{(3)} = \frac{I_{кз \min}^{(3)}}{I_{срэп}} \geq 1,5, \quad (76)$$

$$\kappa_{ч}^{(1)} = \frac{I_{кз \min}^{(1)}}{I_{срэп}} \geq 3 \quad (77)$$

Сечения проводов, защищаемых автоматами, должны быть проверены по условию:

$$I_{дон} \leq I_{сртр} \leq 4,5 \cdot I_{дон} \quad (78)$$

Для автоматов с нерегулируемой характеристикой:

$$I_{сртр} \leq I_{дон} \quad (79)$$

Для автоматов с регулируемой характеристикой:

$$I_{сртр} \leq 1,25 \cdot I_{дон} \quad (80)$$

Автоматические выключатели должны быть проверены на динамическую стойкость по условию:

$$i_{дина} \geq i_{урасч}, \quad (81)$$

где $i_{дина}$ – динамическая стойкость автомата, указывается в паспорте оборудования (или в справочнике [8, 10]), кА;

$i_{урасч}$ – расчетное значение полного тока КЗ в месте установки аппарата, кА.

3 Примеры расчетов

3.1 Пример к задаче № 1 – расчет трехфазных нагрузок

Поскольку расчет ведется по узлам, предположим, что данные ЭП расположены в ряд и присоединены к распределительному ШРА. Набор ЭП следующий:

- Станки разные: $\kappa_u = 0,14$; $\cos\varphi = 0,6$; $\operatorname{tg}\varphi = 1,33$; $n = 9$.

Номинальные мощности электродвигателей станков: $P_{ном} = 2 \cdot 1,7$; $4 \cdot 0,6$; $2 \cdot 2,8$; $1 \cdot 2,8$ кВт.

- Кран-балка подвесная: $\kappa_u = 0,35$; $\cos\varphi = 0,82$; $\operatorname{tg}\varphi = 0,698$; $n = 1$; $P_{ном} = 4,8$ кВт.

- Вентилятор: $\kappa_u = 0,65$; $\cos\varphi = 0,8$; $\operatorname{tg}\varphi = 0,75$; $n = 1$; $P_{ном} = 10$ кВт.

Расчет выполняется по форме Ф 636-92 (таблица Б.1 приложения Б).

1. В графу 1 заносим все ЭП, присоединенные к ШРА по характерным категориям (станки, кран-балки, вентиляторы), в графы 2-4 соответственно количество и их номинальные мощности, приводя мощность кран-балок к $PВ = 100\%$ по формулам (1) или (2):

$$P_{ном} = 4,8 \cdot \sqrt{0,25} = 2,4 \text{ кВт}$$

Определяем суммарную номинальную мощность ЭП:

$$\sum P_{ном} = 2 \cdot 1,7 + 4 \cdot 0,6 + 2 \cdot 2,8 + 1 \cdot 2,8 + 1 \cdot 2,4 + 1 \cdot 10 = 26,6 \text{ кВт}$$

2. В графы 5-6 вносим для каждой категории ЭП соответственно κ_u и $\cos\varphi / \operatorname{tg}\varphi$.

3. Определяем нагрузки за наиболее загруженную смену по формулам (3), (4):

- для станков:

$$P_{смст} = 0,14 \cdot (2 \cdot 1,7 + 4 \cdot 0,6 + 2 \cdot 2,8 + 1 \cdot 2,8) = 1,988 \text{ кВт}$$

$$Q_{смст} = 1,988 \cdot 1,33 = 2,644 \text{ кВАр}$$

- для кран-балок:

$$P_{смк-б} = 0,35 \cdot 2,4 = 0,84 \text{ кВт}$$

$$Q_{смк-б} = 0,84 \cdot 0,698 = 0,586 \text{ кВАр}$$

- для вентиляторов:

$$P_{смв} = 0,65 \cdot 10 = 6,5 \text{ кВт}$$

$$Q_{смв} = 6,5 \cdot 0,75 = 4,875 \text{ кВАр}$$

Кроме того, определяются их суммарные значения $\sum P_{см_i}$ и $\sum Q_{см_i}$ итоговой строкой.

Результаты расчета вносим в графы 7-8.

4. Определяем групповой коэффициент использования по формуле (5):

$$\kappa_{из} = \frac{1,988 + 0,84 + 6,5}{26,6} = \frac{9,328}{26,6} = 0,351$$

Результат заносим в графу 5 итоговой строкой.

5. Определяем по формуле (6) величину:

$$\sum n \cdot P_{ном_i}^2 = 2 \cdot 1,7^2 + 4 \cdot 0,6^2 + 2 \cdot 2,8^2 + 1 \cdot 2,8^2 + 1 \cdot 2,4^2 + 1 \cdot 10^2 = 136,5$$

Результат заносим в графу 9 итоговой строкой.

6. Находим $n_э$ по формуле (7):

$$n_э = \frac{26,6^2}{136,5} = 5,184$$

Принимаем целое меньшее число $n_э = 5$. Результат заносим в графу 10 итоговой строкой.

7. По таблице А.1 приложения А находим путем интерполяции коэффициент расчетной нагрузки, κ_p в зависимости от $\kappa_{из} = 0,351$ и $n_э = 5$, $\kappa_p = 1,24$.

Результат заносим в графу 11.

8. Находим расчетную активную нагрузку по формуле (8):

$$P_p = 1,24 \cdot 9,328 = 11,567 \text{ кВт}$$

Результат заносим в графу 12.

9. Находим расчетную реактивную нагрузку по формуле (10):

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum Q_{см_i} = 1,1 \cdot (2,644 + 0,586 + 4,875) = 1,1 \cdot 8,105 = 8,9155 \text{ кВАр}$$

Результат заносим в графу 13.

10. Определяем полную расчетную мощность по формуле (12):

$$S_p = \sqrt{11,567^2 + 8,9155^2} = 14,609 \text{ кВА}$$

Результат заносим в графу 14.

11. Определяем расчетный ток по формуле (13):

$$I_p = \frac{14,609}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 22,127 A$$

Результат заносим в графу 15.

3.2 Пример к задаче № 2 – расчет однофазных нагрузок

В качестве примера рассмотрим узел – СШ, к которому присоединены как трехфазная нагрузка, так и однофазная, причем однофазная нагрузка получает питание как от фазного напряжения – 220 В, так и от линейного – 380 В. Схема присоединения этих ЭП показана на рисунке.

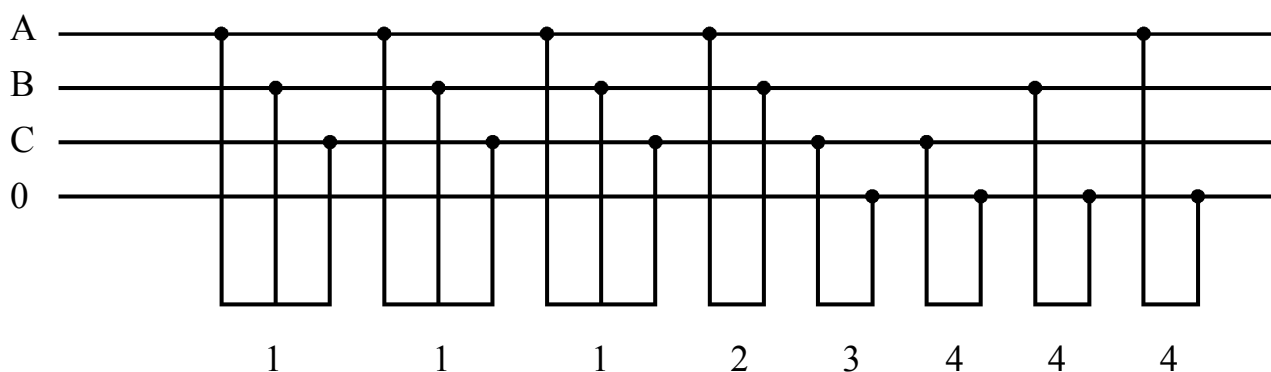


Рисунок 1 – Схема присоединения ЭП к силовому шкафу

Паспортные данные ЭП:

1 – сварочный преобразователь

$$P_{ном1} = 28 \text{ кВт}; \cos\varphi_1 = 0,4; \operatorname{tg}\varphi_1 = 2,29; n_1 = 3; \kappa_{u1} = 0,4$$

(трехфазная нагрузка)

2 – электросварка шовная

$$S_{ном2} = 75 \text{ кВА}; U_{ном2} = 380 \text{ В}; \cos\varphi_2 = 0,4; \operatorname{tg}\varphi_2 = 2,29; n_2 = 1; \kappa_{u2} = 0,4$$

(однофазная нагрузка)

3 – электросварка шовная

$$S_{ном3} = 25 \text{ кВА}; U_{ном3} = 220 \text{ В}; \cos\varphi_3 = 0,4; \operatorname{tg}\varphi_3 = 2,29; n_3 = 1; \kappa_{u3} = 0,4$$

(однофазная нагрузка)

4 – сварочный трансформатор

$S_{ном4} = 25 \text{кВА}$; $U_{ном4} = 220 \text{ В}$; $\text{Cos}\varphi_4 = 0,5$; $\text{tg}\varphi_4 = 1,73$; $n_4 = 3$; $\kappa_{u4} = 0,4$
(однофазная нагрузка)

Все ЭП работают в повторно-кратковременном режиме с $ПВ = 40\%$.

Номинальные мощности всех ЭП приведем к $ПВ = 100\%$ в соответствии с формулами (1) или (2):

$$P_{ном1} = 28 \cdot \sqrt{0,4} = 17,709 \text{кВт}$$

$$Q_{ном1} = P_{ном1} \cdot \text{tg}\varphi_1 = 17,709 \cdot 2,29 = 40,553 \text{кВАр}$$

$$P_{ном2} = 75 \cdot 0,4 \cdot \sqrt{0,4} = 18,974 \text{кВт}$$

$$Q_{ном2} = 18,974 \cdot 2,29 = 43,45 \text{кВАр}$$

$$P_{ном3} = 25 \cdot 0,4 \cdot \sqrt{0,4} = 6,325 \text{кВт}$$

$$Q_{ном3} = 6,325 \cdot 2,29 = 14,483 \text{кВАр}$$

$$P_{ном4} = 25 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{0,4} = 7,906 \text{кВт}$$

$$Q_{ном4} = 7,906 \cdot 1,73 = 13,677 \text{кВАр}$$

Затем выясняем, какая из фаз наиболее загружена, определяя номинальные мощности по каждой из них. Поскольку κ_u и $\text{Cos}\varphi$ для нагрузок близки, расчет ведем по упрощенным формулам (24), (25), (26):

$$P_{номА} = \frac{P_{номАВ}}{2} + P_{номА0} + \frac{1}{3} \cdot P_{ном3-x} \cdot n = \frac{18,974}{2} + 7,906 + \frac{1}{3} \cdot 17,709 \cdot 3 = 35,102 \text{кВт}$$

$$P_{номВ} = \frac{P_{номАВ}}{2} + P_{номВ0} + \frac{1}{3} \cdot P_{ном3-x} \cdot n = \frac{18,974}{2} + 7,906 + \frac{1}{3} \cdot 17,709 \cdot 3 = 35,102 \text{кВт}$$

$$P_{номС} = P_{номС0} + \frac{1}{3} \cdot P_{ном3-x} \cdot n = 6,325 + 7,906 + \frac{1}{3} \cdot 17,709 \cdot 3 = 31,94 \text{кВт}$$

Определим номинальные реактивные нагрузки по фазам, пользуясь аналогичными формулами:

$$Q_{номА} = \frac{43,45}{2} + 13,677 + \frac{1}{3} \cdot 40,553 \cdot 3 = 75,955 \text{кВАр}$$

$$Q_{номВ} = \frac{43,45}{2} + 13,677 + \frac{1}{3} \cdot 40,553 \cdot 3 = 75,955 \text{кВАр}$$

$$Q_{номС} = 14,483 + 13,677 + \frac{1}{3} \cdot 40,553 \cdot 3 = 68,713 \text{кВАр}$$

По формуле (16) определяем неравномерность распределения нагрузок по фазам:

$$\Delta P_{\text{номф}} \% = \frac{35,102 - 31,94}{31,94} \cdot 100 = 9,9\%$$

Найдем средние нагрузки по фазам по формулам (27), (28), (29):

- для активных мощностей:

$$P_{\text{смА}} = 0,4 \cdot 35,102 = 14,041 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{смВ}} = 0,4 \cdot 35,102 = 14,041 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{смС}} = 0,4 \cdot 31,94 = 12,776 \text{ кВт}$$

- для реактивных мощностей:

$$Q_{\text{смА}} = 0,4 \cdot 75,955 = 30,382 \text{ кВАр}$$

$$Q_{\text{смВ}} = 0,4 \cdot 75,955 = 30,382 \text{ кВАр}$$

$$Q_{\text{смС}} = 0,4 \cdot 68,713 = 27,485 \text{ кВАр}$$

Результаты расчета сведены в таблицу Б.4 приложения Б.

Поскольку самой загруженной оказалась фаза А, найдем для нее $\kappa_{узА}$ по формуле (30):

$$\kappa_{узА} = \frac{14,041}{35,102} = 0,4$$

В данном случае $\kappa_{и}$ одинаков для всех ЭП, поэтому и групповой оказался таким же – 0,4.

Далее найдем эффективное число ЭП по формуле (31):

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \left(\frac{17,709 \cdot 3}{3} + 18,974 + 6,325 + 3 \cdot 7,906 \right)}{3 \cdot 18,974} = 2,344$$

Принимаем ближайшее целое меньшее число $n_{\text{э}} = 2$.

По найденным значениям $\kappa_{уз} = 0,4$ и $n_{\text{э}} = 2$ по таблице А.1 приложения А находим $\kappa_p = 1,98$. Тогда расчетная активная мощность определится по формуле (32):

$$P_p = 3 \cdot 1,98 \cdot 14,041 = 83,404 \text{ кВт}$$

Расчетная реактивная мощность для этого узла определяется по следующей формуле:

$$Q_p = 1,1 \cdot 3 \cdot Q_{см \max \phi} = 1,1 \cdot 3 \cdot 30,382 = 100,261 \text{кВАр}$$

Полная расчетная мощность определяется по формуле (12):

$$S_p = \sqrt{83,404^2 + 100,261^2} = 130,416 \text{кВА}$$

Расчетный ток находится по формуле (13):

$$I_p = \frac{130,416}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 197,6 \text{А}$$

3.3 Пример к задаче № 3 – расчет осветительной нагрузки

Расчет нагрузки освещения производится для цеха со следующими габаритными размерами:

$A = 78 \text{ м}$ – длина цеха; $B = 24 \text{ м}$ – ширина цеха (два пролета по 12 м); $H = 11 \text{ м}$ – высота цеха.

В качестве источников света берутся ДРЛ или дуговые ртутные лампы с добавками йода (ДРИ).

Тип светильников выбирается в соответствии с рекомендациями для производственных помещений – РСП [8, 11]. Расчет ведется для системы общего равномерного освещения.

Вид освещения рабочий, предназначено для производства работ в цеху.

Освещенность выбирается в зависимости от точности производимых работ по нормам (таблица А.7 приложения А), [5]. Для механических цехов $E_{min} = 300 \text{ лк}$.

Коэффициент запаса $\kappa_{зан} = 1,5$ – для ДРЛ (ДРИ).

Коэффициент, связывающий минимальную освещенность со средней $z = 1,15$ [4, 7, 9].

Коэффициенты отражения для стен, потолка, рабочих поверхностей также взяты из справочной литературы [8] или из таблицы А.8 приложения А: $\rho_c = 0,3$; $\rho_n = 0,5$; $\rho_p = 0,3$

Произведем расчет методом коэффициента использования светового потока.

1. Определяем площадь помещения $S = A \cdot B$.

$$S = 78 \cdot 24 = 1872 \text{ м}^2.$$

2. Определяем расчетную высоту

$$h = H - h_p - h_c, \quad (82)$$

где H – высота помещения, м;

h_p – высота рабочей поверхности, м;

h_c – высота свеса светильника, м.

$$H = 11 \text{ м}, h_p = 0,8 \text{ м}, h_c = 0,7 \text{ м}$$

$$h = 11 - 0,8 - 0,7 = 9,5 \text{ м}$$

3. Размещаем светильники в цехе

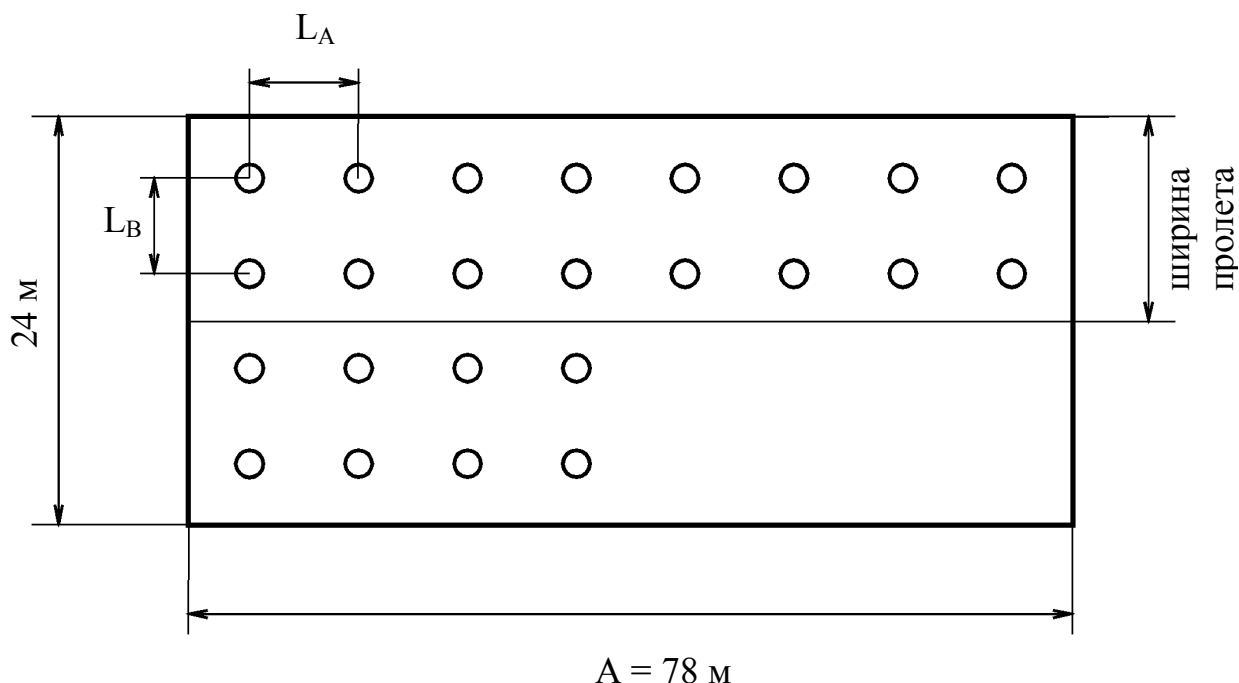


Рисунок 2 – Размещение светильников в цехе

В соответствии с рекомендациями [8], размещаем светильники по вершинам прямоугольника, учитывая габариты цеха и расположение оборудования в цехе, а также количество пролетов. Расстояния между рядами – в соответствии с шириной пролета $L_B = 6$ м, между светильниками в ряду:

$$L_A = h \cdot \lambda, \quad (83)$$

где λ – зависит от кривой силы света светильника (КСС), берется из справочной литературы [8, 11].

Для РСП $\lambda = 0,9 - 1,1$.

$$L_A = 9,5 \cdot 1 = 9,5 \text{ м}$$

Эта величина может быть скорректирована по месту.

4. Определяем индекс помещения по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} \quad (84)$$

$$i = \frac{78 \cdot 24}{9,5 \cdot (78 + 24)} = 1,932$$

Округляем до ближайшего стандартного значения $i = 2,0$ [11].

5. Находим коэффициент использования светового потока по справочным данным [8, 11] или по таблице А.9 приложения А: $\kappa_u = f(i, \rho, h$ и типа светильника)
 $\kappa_u = 0,55$.

6. Определяем расчетный световой поток лампы по формуле:

$$F_{\text{расч}} = \frac{E_{\text{min}} \cdot \kappa_{\text{зан}} \cdot z \cdot S}{N_{\text{л}} \cdot \kappa_u} \quad (85)$$

$$F_{\text{расч}} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 1,15 \cdot 1872}{32 \cdot 0,55} = 55043 \text{ лм}$$

По данному световому потоку выбираем лампу (ДРЛ или ДРИ) [11], (таблица А.11 приложения А) со стандартным световым потоком:

- ДРЛ 1000 Вт – $F_{\text{лст}} = 58 \text{ клм}$;

- ДРИ 700 Вт – $F_{\text{лст}} = 60 \text{ клм}$.

Допускается $-10\% < \Delta F < 20\%$

Определим ΔF для каждой из ламп по формуле:

$$\Delta F = \frac{F_{\text{ст}} - F_{\text{расч}}}{F_{\text{ст}}} \quad (86)$$

$$\Delta F_{ДРИ} = \frac{60 - 55,043}{60} \cdot 100 = 8,26\%$$

$$\Delta F_{ДРЛ} = \frac{58 - 55,043}{58} \cdot 100 = 5,098\%$$

Обе лампы укладываются в нормированные значения, но лампа ДРИ более экономична, так как дает больший световой поток при меньшей мощности (имеет большую световую отдачу).

Расчетная мощность осветительной установки согласно формуле (33):

$$P_{роц} = 1000 \cdot 32 \cdot 0,85 = 27200 \text{ Вт} - \text{ для светильников с ДРЛ}$$

$$P_{роц} = 700 \cdot 32 \cdot 0,85 = 19040 \text{ Вт} - \text{ для светильников с ДРИ}$$

Если расчет ведется методом удельной мощности, то расчетная мощность осветительной установки определяется по формуле (34). Удельная мощность освещения определяется по справочной литературе [11] или по таблицам А.12-А.14 приложения А. Предварительно должен быть выбран источник света, тип светильника, высота помещения, индекс помещения, коэффициенты отражения, а также минимальная освещенность [5].

Для принятых условий:

$$P_{удо} = 10 \text{ Вт/м}^2$$

Расчетная нагрузка освещения определяется по методу удельной мощности по формуле (34):

$$P_{ро} = 10 \cdot 1872 = 18720 \text{ Вт}$$

Так как газоразрядные лампы имеют $\cos\varphi = 0,6$, $\tan\varphi = 1,333$, то следует учесть и реактивную мощность, потребляемую ими, по формуле (35):

$$Q_{роц} = 27,2 \cdot 1,33 = 36,176 \text{ кВАр} - \text{ для ДРЛ}$$

$$Q_{роц} = 19,04 \cdot 1,33 = 25,323 \text{ кВАр} - \text{ для ДРИ}$$

Если расчет ведется по удельной мощности, то: $Q_{роц} = 18,72 \cdot 1,33 = 24,898 \text{ кВАр}$.

3.4 Пример к задаче № 4 – выбор мощности цехового трансформатора

Нагрузка цеха согласно формулам (36), (37) включает как силовую, так и осветительную нагрузку. Цех рассматривается как узел нагрузки, поэтому методика расчета силовой нагрузки аналогична примеру к задаче № 1. Перечень цеховых ЭП приведен в таблице 4. Весь расчет сведен в таблицу Б.5 приложения Б.

1. В графы 1-4 этой таблицы вписываются исходные данные ЭП и определяется суммарная номинальная мощность цеха $\sum P_{ном} = 898,998 \text{ кВт}$.

2. В графах 5-6 приводятся κ_u и $\cos \varphi$ для каждой из групп ЭП.

3. Определяются сменные нагрузки для каждой группы ЭП по формулам (3) и (4).

4. Определяется групповой коэффициент использования по формуле (5):

$$\kappa_{из} = \frac{309,514}{898,998} = 0,344$$

5. Величины $n \cdot P_{ном}^2$ в данном расчете не определяются.

6. Эффективное число ЭП находится по упрощенной формуле (27) ввиду большого количества ЭП ($n > 30-50$):

$$n_э = \frac{2 \cdot 898,998}{45} = 39,955$$

Принимается $n_э = 39$ – целое меньшее число

7. По найденным $\kappa_{из} = 0,75$ и $n_э$ определяется κ_p по таблице приложения.

8. Определяется расчетная активная нагрузка по формуле (8):

$$P_p = 0,75 \cdot 309,514 = 232,136 \text{ кВт}$$

9. Определяется расчетная реактивная нагрузка по формуле (11):

$$Q_p = Q_{см} = 263,945 \text{ кВАр}$$

10. Полная расчетная мощность определяется по формуле (12):

$$S_p = \sqrt{232,136^2 + 263,945^2} = 351,502 \text{ кВА}$$

Поскольку при выборе мощности цехового трансформатора учитываются и нагрузки освещения по формулам (36), (37), определим эти нагрузки (сменную и расчетную). При этом принимаем во внимание зависимости (39) и (40):

$$P_{смц} = 309,514 + 18,72 = 328,234 \text{ кВт}$$

$$Q_{смц} = 263,945 + 24,898 = 288,843 \text{ кВАр}$$

$$S_{смц} = \sqrt{328,234^2 + 288,843^2} = 437,227 \text{ кВА}$$

$$P_{рц} = 232,136 + 18,72 = 250,856 \text{ кВт}$$

$$Q_{рц} = 263,136 + 24,898 = 288,843 \text{ кВАр}$$

$$S_{рц} = \sqrt{250,856^2 + 288,843^2} = 382,569 \text{ кВА}$$

В этих формулах в качестве расчетной мощности осветительных нагрузок взяты нагрузки, рассчитанные по удельным показателям (см. пример к задаче № 3).

Расчетная мощность трансформатора определяется по формуле (41):

$$S_{трасч} = \frac{437,227}{2 \cdot 0,75} = 291,485 \text{ кВА}$$

Полученная мощность округляется до стандартного значения: 250 кВА. Этот трансформатор следует проверить в соответствии с [6] по условиям (42), (43).

Поскольку выбрано два трансформатора, проверка на систематическую перегрузку отпадает.

Аварийную перегрузку определяем в соответствии с рекомендациями [7]. Учитывая, что в цехе установлена комплектная трансформаторная подстанция (КТП), охлаждение трансформаторов естественное масляное, время перегрузки $h = 8$ часов (при двухсменной работе), температура воздуха $\Theta = 20^\circ\text{C}$ (при установке КТП в цехе), расчет ведется по [6] без учета предшествующей нагрузки или рассчитанной по формуле (44):

$$k_{2ав} = f(\Theta^\circ\text{C}, M, h, k_1)$$

$$k_{2ав} = 1,3$$

При заданной доле потребителей I, II категории – 40%, проверим трансформатор на аварийную перегрузку: $S_{I, II} = 0,4 \cdot S_p$

$$250 \cdot 1,3 > 0,4 \cdot 437,227$$

$$325 > 174,89$$

Если потребителей I и II категории больше и выбранный трансформатор не удовлетворяет условиям перегрузки, следует выбрать трансформатор большей мощности.

3.5 Пример к задаче № 5 – выбор пунктов питания и сечений проводов и кабелей

3.5.1 Выбор пунктов питания

3.5.1.1 Выбор пунктов питания для нагрузок, рассчитанных в задаче № 1

Поскольку в задаче № 1 пункт питания ЭП уже определен – это распределительный ШРА, остается лишь выбрать его параметры. Выбор ШРА (как и всех проводников ниже 1000 В) осуществляется по нагреву по формуле (52). Так как расчетный ток в задаче № 1 $I_{расч} = 22,127 А$, выбираем ШРА с ближайшим к этому значению номинальным током: ШРМ (шинопровод распределительный с медными шинами) – 75 с $I_{ном} = 100 А$, $100 А > 22,127 А$

Данный ШРА предназначен для подключения ЭП с $U_{ном} = 380 / 220 В$.

Если известна длина ШРА, следует проверить его по потере напряжения по формуле (51).

При известных токах КЗ производят проверку ША на динамическую стойкость по формуле (53). (В данной работе эти величины отсутствуют, поэтому такая проверка не производится).

3.5.1.2 Выбор пунктов питания для нагрузок, рассчитанных в задаче № 2

Для ЭП задачи № 2, расположенных на территории цеха компактно, предполагается в качестве пункта питания использовать ШС типа ШРС (шкаф силовой распределительный) 11 без вводного выключателя с номинальным током шкафа 250 А, $I_{расч} = 197,6 А$ (см. результаты задачи № 2).

Количество отходящих линий – 10. Шкаф укомплектован автоматическими трехполюсными выключателями типа АЕ.

3.5.2 Выбор сечений проводов и кабелей

3.5.2.1 Выбор высоковольтного кабеля, питающего трансформаторную подстанцию

Сечение высоковольтного кабеля выбирается по расчетной нагрузке. Нагрузку цеха, определенную в задаче № 4, приведем к напряжению 10 кв, прибавив потери мощности в трансформаторе по формуле:

$$S_{расч10} = \sqrt{(P_{расч0,4} + \Delta P_m)^2 + (Q_{расч0,4} + \Delta Q_m)^2} \quad (87)$$

где $P_{расч0,4}$ и $Q_{расч0,4}$ определены в задаче № 4;

ΔP_m и ΔQ_m определяются по паспортным данным трансформатора.

$$S_{расч0,4} = \sqrt{250,856^2 + 288,843^2} = 382,569 \text{кВА}$$

Паспортные данные трансформатора ТМФ-250 следующие:

$$I_{xx} = 2,3\%; u_{\kappa} = 4,5\%; \Delta P_{xx} = 1,05 \text{кВт}; \Delta P_{\kappa\kappa} = 3,7 \text{кВт};$$

$$\Delta Q_{xx} = S_{номт} \cdot \frac{I_{xx} \%}{100} = 250 \cdot \frac{2,3\%}{100} = 5,75 \text{кВАр}$$

$$\Delta Q_{\kappa\kappa} = S_{номт} \cdot \frac{u_{\kappa} \%}{100} = 250 \cdot \frac{4,5\%}{100} = 11,25 \text{кВАр}$$

Поскольку нагрузка трансформатора отлична от номинальной:

$$\Delta P_m = \Delta P_{xx} + \Delta P_{\kappa\kappa} \cdot \kappa_{зф}^2,$$

$$\text{где } \kappa_{зф} = \frac{S_{расч}}{2 \cdot S_{ном}} = \frac{382,569}{2 \cdot 250} = 0,765$$

$$\Delta P_m = 1,05 + 3,7 \cdot 0,765^2 = 1,05 + 2,165 = 3,215 \text{кВт}$$

$$\Delta Q_m = \Delta Q_{xx} + \Delta Q_{\kappa\kappa} \cdot \kappa_{зф}^2 = 5,75 + 11,25 \cdot 0,765^2 = 5,75 + 6,58 = 12,33 \text{кВАр}$$

Тогда

$$S_{расч10} = \sqrt{(250,856 + 3,215)^2 + (288,843 + 12,33)^2} = \sqrt{254,071^2 + 301,173^2} = 394,027 \text{кВА}$$

Для питания КТП выбирается кабель ААШв с бумажно-масляной изоляцией, проложенный в земле в траншее. Поскольку подстанция выбрана с двумя трансформаторами, кабелей тоже два. Сечение каждого из них выбирается по экономической плотности тока по формулам (45), (46):

$$I_{расч} = \frac{394,027}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 11,39 \text{ A}$$

$$j_{эк} = 1,4$$

$$F_{эк} = \frac{11,39}{1,4} = 8,136 \text{ мм}^2$$

Поскольку минимальное сечение кабелей напряжением 10 кВ не менее 16 мм², то принимаем именно это сечение: 2 ААШв 3 × 16, $I_{дон} = 95 \text{ A}$.

Данное сечение должно быть проверено по аварийному режиму по формуле (47), аварийный ток определяется по формулам (48) или (49):

$$I_{ав} = \frac{1,3 \cdot 250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 18,786 \text{ A}$$

$95 > 18,786$ – условие выполняется. Кроме того, этот кабель должен быть проверен по термической устойчивости по формуле (50). Но так как расчет КЗ в данной задаче нет, нет и этой проверки. Проверка кабеля по потере напряжения (формула (51)) также не осуществляется, так как данные по его протяженности отсутствуют.

3.5.2.2 Выбор сечений кабелей распределительной сети

1. Для одного из примеров рассмотрим расчет кабеля от распределительного ШРА, выбранного в пункте 3.5.1.1, до вентилятора, который получает питание от этого ШРА.

Сечение кабелей напряжением ниже 1000 В (как было указано выше) выбирается по нагреву по формуле (52). Номинальная мощность ЭП $P_{ном} = 10 \text{ кВт}$; $\cos\varphi_{ном} = 0,8$; $\eta_{ном} = 0,84$; $U_{ном} = 380 \text{ В}$. Ток этого ЭП:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi_{ном} \cdot \eta_{ном}} \quad (88)$$

$$I_{расч} = I_{ном} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8 \cdot 0,84} = 22,64 A$$

Выбираем четырехжильный кабель марки АВВГ 4×6, с $I_{дон} = 32$ (для трехжильных кабелей). Поскольку данный кабель четырехжильный, его допустимый ток

$$I'_{дон} = 32 \cdot 0,92 = 29,44 A$$

29,44 > 22,64 – условие выполняется.

2. В качестве второго примера рассмотрим расчет кабеля от силового шкафа, выбранного в пункте 3.5.1.2, до аппарата шовной электросварки (ЭП № 3 в задаче № 2):

$$S_{ном3ПВ=100\%} = S_{ном3насп} \cdot \sqrt{ПВ} = 25 \cdot \sqrt{0,4} = 15,81 кВА$$

$$I_{расч3} = I_{ном3} = \frac{S_{ном3}}{U_{фном}} = \frac{15,81}{0,22} = 71,87 A$$

Выбираем кабель ВРГ 2×16 ($I_{дон} = 95 A$)

$$95 A > 71,87 A$$

3.6 Пример к задаче № 6 – выбор защитной аппаратуры

3.6.1 Выбор защитной аппаратуры на подстанции

Поскольку преимущество при выборе подстанций отдается комплектным устройствам, выбираем КТП с двумя трансформаторами типа ТМФ мощностью 250 кВА: КТП 2 × 250.

Аппараты с высокой стороны КТП выбираются в соответствии с заводской схемой электроснабжения и местом в ней данной подстанции, а на низкой стороне – в КТП установлены выключатели типа ВА: на вводе – ВА 5139 с $I_{ном} = 630 A$; на отходящих линиях – ВА 5735 с $I_{ном} = 250 A$. Оба автомата с комбинированным расцепителем.

Для вводного автомата ток срабатывания теплового расцепителя определяется по формуле (74):

$$I_{сртп} \geq 1,2 \cdot I_{расч},$$

$$\text{где } I_{расч} = \frac{\kappa_{ав} \cdot S_{номт}}{\sqrt{3} \cdot U_{НН}} = \frac{1,3 \cdot 250}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 494,372 \text{ А}$$

$$I_{сртр} \geq 1,2 \cdot 494,372 = 593,246 \text{ А}$$

Принимается $I_{сртр} = 630 \text{ А}$, $630 > 593,246$.

Ток срабатывания электромагнитного расцепителя согласно справочным данным может быть принят:

$$I_{срэр} = \kappa_n \cdot I_{ном}, \quad (89)$$

где κ_n – коэффициент кратности, $\kappa_n = 4; 5; 6; 8; 10$ – выбираются исходя из величин токов КЗ трехфазного и однофазного и выполнения условий (76) и (77).

Кроме того, должны выполняться условия (73) и (75).

Если принять $\kappa_n = 4$, то $I_{срэр} = 4 \cdot 630 = 2520 \text{ А}$.

При невыполнении условий (76) и (77) следует выбрать другой автомат и сделать перерасчет.

Для автоматов отходящих линий токи срабатывания теплового и электромагнитного расцепителей выбираются согласно схеме электрических присоединений:

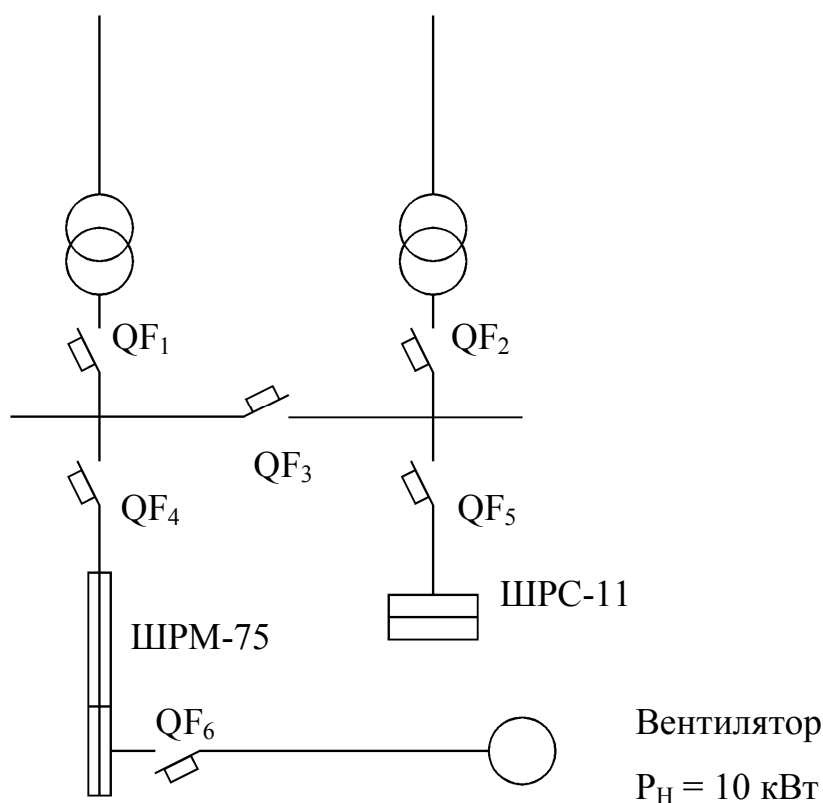


Рисунок 3 – Схема присоединения ЭП на цеховой трансформаторной подстанции

QF_4 – для присоединения ШРА с $I_{нома} = 250 A$.

Ток теплового расцепителя: $I_{сртр} \geq 1,2 \cdot I_{расч}$; $I_{расч} = 22,127 A$ (см. раздел 3, задача № 1.)

$$I_{сртр} \geq 1,2 \cdot 22,127 = 26,55 A$$

Выбирается ближайшее стандартное значение тока срабатывания теплового расцепителя $31,5 > 26,55$. Этот ток должен быть отстроен от пикового тока по формулам (60), (61).

$$I_{пик} = I_{пуск\max} + (I_p - I_{ном} \cdot \kappa_u) = 22,64 \cdot 5 + (22,127 - 22,64 \cdot 0,14) = 132,157$$

Тепловой расцепитель не должен срабатывать при пуске:

$$I_{сртр} \geq \frac{I_{пик}}{2,5} = \frac{132,157}{2,5} = 52,86 A$$

Принимается $I_{сртр} = 63 A$.

Ток электромагнитного расцепителя: $I_{срэр} \geq \kappa_n \cdot I_{нома}$; $I_{срэр} = 2,5 \cdot 250 = 625 A$.

3.6.2 Выбор защитной аппаратуры, установленной для присоединения ЭП к распределительному ШРА

QF_6 типа ВА 5131 для присоединения вентилятора с $P_{ном} = 10 кВт$.

Его расчетный ток, определенный в задаче № 1: $I_{ном} = I_{расч} = 22,64 A$

$$I_{нома} = 100 A$$

$$I_{сртр} = 1,2 \cdot 22,64$$

$$31 > 27,168$$

Тепловой расцепитель не должен срабатывать при пуске:

$$I_{сртр} \geq \frac{I_{пуск}}{2,5}$$

$$I_{пуск} = 5 \cdot 22,64 = 113,2 A$$

$$I_{сртр} \geq \frac{113,2}{2,5} = 45,28 A$$

Выбирается ближайшее значение $I_{сртр} = 50 A$.

Окончательно выбирается автомат ВА 5131; $I_{ном} = 100 A$; $I_{сртр} = 50 A$;

$$I_{срэр} = 300 \text{ А.}$$

Уточняется ток ранее выбранного автомата QF_4 для их селективной работы. Ток теплового расцепителя автомата QF_4 должен быть на ступень выше автомата QF_6 . Окончательно выбирается ток теплового расцепителя этого выключателя – 63 А.

Защитные аппараты в ШС типа ШРС 11 выбираются аналогично.

Проверка автоматов по ударному току (по динамической стойкости) не производится, так же как и по коэффициенту чувствительности к токам КЗ, поскольку расчет КЗ в данной работе не предусмотрен.

Список использованных источников

1. СТО 02069024.101-2014 Работы студенческие. Общие требования и правила оформления.
2. Указания по расчету электрических нагрузок. РТМ 36.18.32.4-92. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1992. – 28 с.
3. Электроснабжение промышленных предприятий: методическое пособие к курсовому проекту по курсу ЭПП / Б.И. Кудрин, В.И. Чиндяскин, Е.Я. Абрамова. – Оренбург: ОГУ, 2000. – 124 с.
4. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина [и др.] – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
5. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования. СНиП 23-05-95. – Введ. 1996-01-01. – М.: Госстрой РФ, 1995. – 60 с.
6. ГОСТ 14209-85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. – Введ. 1987-01-07. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 31 с.
7. Нормы технологического проектирования электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Тяжпромэлектропроект, 1994. – 67 с.
8. Федоров, А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие для вузов / А.А. Федоров, Л.Е. Старкова. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 368 с.
9. Абрамова, Е.Я. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие / Е.Я. Абрамова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 106 с.
10. Электротехнический справочник: В 4-х т. / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). – 8-е изд., испр. и доп. – Т. 3. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 964 с.
11. Электротехнический справочник: В 4-х т. / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). – 8-е изд., испр. и доп. – Т. 4. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 696 с.

12. Ополева, Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: Учебное пособие / Г.Н. Ополева. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. – 480 с.
13. Правила устройства электроустановок. – М.: КНОРУС, 2009. – 488 с.
14. Мельников, М.А. Внутрицеховое электроснабжение: учебное пособие / М.А. Мельников. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 167 с.

Приложение А

Таблица А.1 – Значения коэффициентов расчетной нагрузки κ_p для питающих сетей напряжением до 1000 В

n_3	Коэффициент использования κ_u								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14	1,0
2	6,22	4,33	3,39	2,45	1,98	1,60	1,33	1,14	1,0
3	4,05	2,89	2,31	1,74	1,45	1,34	1,22	1,14	1,0
4	3,24	2,35	1,91	1,47	1,25	1,21	1,12	1,06	1,0
5	2,84	2,09	1,72	1,35	1,16	1,16	1,08	1,03	1,0
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,14	1,13	1,06	1,01	1,0
7	2,49	1,86	1,54	1,23	1,12	1,10	1,04	1,0	1,0
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,10	1,08	1,02	1,0	1,0
9	2,27	1,71	1,43	1,16	1,09	1,07	1,01	1,0	1,0
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,07	1,05	1,0	1,0	1,0
11	2,11	1,61	1,35	1,1	1,06	1,04	1,0	1,0	1,0
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,05	1,03	1,0	1,0	1,0
13	1,99	1,52	1,29	1,06	1,04	1,01	1,0	1,0	1,0
14	1,94	1,49	1,27	1,05	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,89	1,46	1,250	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
17	1,81	1,41	1,21	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,78	1,39	1,19	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19	1,75	1,36	1,17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	1,72	1,35	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	1,69	1,33	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	1,67	1,31	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	1,64	1,30	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24	1,62	1,28	1,11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	1,6	1,27	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	1,51	1,21	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
35	1,44	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
40	1,4	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
45	1,35	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,3	1,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
60	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
70	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
80	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
90	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица А.2 – Средние значения коэффициентов использования (κ_u) и мощности ($\cos\varphi$) для характерных групп ЭП, отдельных корпусов, цехов, мастерских и складов

Наименование	κ_u	$\cos\varphi$
Металлорежущие станки с нормальным режимом работы: мелкие токарные, строгальные, фрезерные, сверлильные, шлифовальные, точильные и т.д.	0,14-0,16	0,5-0,6
Металлообрабатывающие станки при тяжелом режиме работы: штамповочные прессы, обдирочные станки, механические ножницы, зубофрезерные, а также крупные токарные фрезерные, расточные, карусельные станки	0,17-0,22	0,6
Металлообрабатывающие станки с особо тяжелым режимом работы: приводы молотов, ковочных машин, волочильных станков, бегунов	0,22-0,26	0,65
Вентиляторы, эксгаустеры, калориферы	0,6-0,65	0,8
Насосы, компрессоры, двигатели-генераторы	0,7-0,75	0,8
Краны, тельферы	0,1-0,2	0,5
Конвейеры, транспортеры, элеваторы	0,4-0,5	0,75
Сварочные трансформаторы	0,3-0,35	0,35
Многопостовые сварочные двигатели-генераторы	0,4-0,5	0,35
Сварочные машины, шовные, точечные	0,25-0,35	0,5-0,6
Печи сопротивления, сушильные шкафы, нагревательные шкафы	0,6-0,8	0,95-1,0
Ламповые генераторы индукционных печей высокой частоты	0,6-0,7	0,65
Переносной электроинструмент	0,1-0,15	0,5
Формовочные машины	0,15-0,2	0,6
Деревообрабатывающие станки, токарные, сверлильные, фуговочные, рейсмусовые, долбежные, строгальные и т.д.	0,17	0,6
Пилорамы, дисковые пилы	0,25-0,3	0,65
Ремонтно-механические цеха	0,2-0,3	0,65-0,7
Электроремонтные цеха	0,3-0,4	0,7-0,8
Насосные, кислородные, компрессорные станции с электродвигателями низкого напряжения	0,6-0,65	0,7-0,85
Насосные, кислородные, компрессорные станции с электродвигателями высокого напряжения: асинхронные	0,7-0,8	0,8-0,9
Насосные, кислородные, компрессорные станции с электродвигателями высокого напряжения: синхронные	0,7-0,8	0,85-0,9
Вентиляционные установки и отопление	0,6-0,7	0,8

Продолжение таблицы А.2

Наименование	κ_{II}	$\cos\varphi$
Газогенераторные станции	0,4-0,5	0,7-0,8
Литейные черных металлов	0,5-0,7	0,7-0,8
Литейные цветных металлов	0,6-0,7	0,8-0,9
Дуговые сталеплавильные печи	0,6-0,75	0,9
Дуговые печи цветного металла	0,7-0,75	0,8
Рудно-термические печи	0,8-0,9	0,9
Блок основных цехов	0,4-0,5	0,75
Блок вспомогательных цехов	0,3-0,36	0,7
Кузнечно-прессовые отделения	0,4-0,5	0,75
Термические, закалочные отделения	0,6	0,75
Металлоконструкции, сварочно-заготовительные цеха	0,4-0,5	0,6
Механосборочные и заготовительные цеха	0,25-0,35	0,65-0,75
Механические, токарные, инструментальные цеха	0,25-0,35	0,65-0,75
Деревообрабатывающие, столярные, модельные цеха	0,2-0,3	0,6-0,8
Малярные, красильные цеха	0,4-0,5	0,6-0,7
Собственные нужды ТЭЦ	0,6-0,7	0,8
Лаборатории, заводоуправление, конструкторские бюро, конторы	0,4-0,5	0,7-0,8
Депо электрокар	0,5-0,7	0,7-0,8
Депо (паровозное, пожарное, железнодорожное)	0,3-0,4	0,6-0,8
Гаражи автомашин	0,2-0,3	0,7
Котельные	0,5-0,6	0,8
Склады готовой продукции, металла, магазины	0,3-0,4	0,8
Столовая	0,4-0,5	0,9
Лесозаводы	0,35-0,45	0,75
Лесосушки	0,6-0,7	0,75-0,9
Термическая нагрузка (нагревательные печи)	0,7-0,8	0,85-0,9
Крановая нагрузка, подъемники	0,2-0,3	0,5-0,7
Электросварка	0,6	0,35
Малярные, модельные отделения	0,4-0,5	0,5-0,6
Заводоуправления, конструкторские бюро, проходные, конторы и т.п.	0,7-0,8	0,8-1,0
Склады открытые	0,2-0,3	0,6-0,7

Таблица А.3 – Средние значения коэффициентов использования (κ_u) и мощности ($\cos\varphi$) для специфических ЭП разных режимов работы

Наименование групп ЭП	ЭП	κ_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$
Электродвигатели, хорошо загруженные и непрерывно работающие	Вентиляторы, насосы, компрессоры, двигатель-генераторы и т.п.	0,65	0,8	0,75
Электродвигатели металлообрабатывающих станков	Станки универсального назначения (токарные, фрезерные, строгальные, сверлильные, долбежные и т.п.)	0,14	0,6	1,33
	Специализированные станки, станки-автоматы, агрегатные	0,22-0,25	0,65	1,17
	Механизмы кузнечных цехов (кривошинные прессы, ковочные машины, прессы горячей штамповки и т.п.), литейных цехов (очистные и галтовочные барабаны, бегуны, шаровые мельницы и т.п.)	0,25-0,35	0,65	1,17
	Автоматические поточные линии	0,6	0,7	1,0
Электродвигатели механизмов непрерывного транспорта	Транспортеры, конвейеры, элеваторы и сблокированные с ними механизмы	0,6	0,7	1,0
Электродвигатели повторно-кратковременного режима работы	Краны, кран-балки, тельферы и т.п. (механические сборочные и им подобные цехи)	0,06	0,45	1,98
Электрические печи. Поверхностная закалка и высокочастотный нагрев	Печи сопротивления, нагревательные аппараты, ванны, сушильные камеры периодического действия	0,55	0,95	0,33
	Печи сопротивления непрерывного действия, методические, конвейерные и толкательные	0,7	0,95	0,33
	Индукционные печи низкой частоты	0,75	0,35	2,67

Продолжение таблицы А.3

Наименование групп ЭП	ЭП	κ_u	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
Электрические печи. Поверхностная закалка и высокочастотный нагрев	Индукционные печи высокой частоты с собственными двигатель-генераторами	0,6	0,7	1,0
	Индукционные печи с собственными ламповыми генераторами	0,75	0,8	0,75
Электрическая сварка	Трансформаторы дуговой сварки	0,3	0,35	2,67
	Аппараты стыковой, шовной и точечной сварки, нагреватели заклепок	0,35	0,55	1,51
	Однопостовые сварочные двигатель-генераторы	0,35	0,65	1,17
	Многопостовые сварочные двигатель-генераторы	0,7	0,7	1,0
Электрическое освещение	Лампы накаливания	0,85	1,0	-
	Люминесцентные лампы	0,85-0,9	0,95	0,33
	Газоразрядные лампы высокого давления	0,6-1,0	0,6	1,33

Таблица А.4 – Значения коэффициентов приведения однофазной нагрузки

Коэффициенты приведения	Коэффициенты мощности нагрузок								
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,8	0,9	1,0
$P(ab)a, P(bc)b, P(ac)c$	1,4	1,17	1,0	0,89	0,84	0,8	0,72	0,64	0,5
$P(ab)b, P(bc)c, P(ac)a$	-0,4	-0,17	0	0,11	0,16	0,2	0,28	0,36	0,5
$q(ab)a, q(bc)b, q(ac)c$	1,26	0,86	0,58	0,38	0,3	0,22	0,09	-0,05	-0,29
$q(ab)b, q(bc)c, q(ac)a$	2,45	1,44	1,16	0,96	0,88	0,8	0,67	0,53	0,29

Таблица А.5 – Коэффициенты спроса осветительных нагрузок κ_c

Наименование объектов	κ_c
Мелкие производственные здания и торговые помещения	1,0
Производственные здания, состоящие из отдельных крупных пролетов	0,95
Производственные здания, состоящие из ряда отдельных помещений	0,85
Библиотеки, административные здания, предприятия общественного питания	0,9
Лечебные заведения и учебные учреждения, конторско-бытовые и лабораторные здания	0,8
Складские здания, электрические подстанции	0,6
Аварийное освещение	1,0

Таблица А.6 – Значения коэффициентов расчетной нагрузки κ_p на шинах НН цеховых трансформаторов и для магистральных ШРА напряжением до 1 кВ

$n_э$	Коэффициент использования κ_u							
	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

Таблица А.7 – Примеры норм освещенности и качественных показателей освещения ряда электротехнических производств (освещение РЛ)

Цех, участок	Плоскость, в которой нормируется освещенность (Г – горизонтальная, В – вертикальная); высота над полом, м	Разряд и подразряд зрительной работы	Минимальная освещенность, лк			Показатель ослепленности P , отн. ед., не более	Коэффициент пульсации k_p , %, не более
			Комбинированное освещение		Общее освещение		
			Всего	От общего			
Общепромышленные цехи, участки, оборудование							
Заготовительно-штамповочный цех металла (резка листа, рубка прута, гибка колец, штамповка, вытяжка, вырубка деталей, навивка, разрезание и шихтовка магнитопроводов)	Г, О	Va	300	150	200	40	20
Цех изготовления изоляции	Г, О	Vб	200	150	150	40	20
Цех пластмасс – отделение подготовки сырья, таблетирование, перемол отходов	Г, О	Va	300	150	200	40	20
Прессовое отделение, отделение механической обработки	Г, О	IVa	750	150	300	40	20
Сушильно-пропиточное отделение, участок лакировки, участок отжига	Г; 0,8	VI	-	-	150	40	20
Разделка провода, вязка жгутов	Г, О	IVб	500	150	200	40	20
Пайка оконцевателей	Г, О	IIIв	750	150	300	40	20/15
Намотка катушек на автомате	Г, О	IIIб	1000	150	-	40	20/15
Контроль электрических параметров	любая	IVг	300	150	150	40	20
Обработка сырьевых материалов (мельницы, смесители, вальцы, элеваторы, сушилки, реакторы и т.д.)							
Для ремонта и наладки оборудования	Г, В	IVб	500	150	200	40	20

Продолжение таблицы А.7

Цех, участок	Плоскость, в которой нормируется освещенность (Г – горизонтальная, В – вертикальная); высота над полом, м	Разряд и подразряд зрительной работы	Минимальная освещенность, лк			Показатель ослепленности P , отн. ед., не более	Коэффициент пульсации k_n , %, не более
			Комбинированное освещение		Общее освещение		
			Всего	От общего			
Электромашиностроение							
Литейный цех, участок заливки алюминия в пазы ротора	Г, О	Шв	-	-	300	40	15
Обмоточный цех: заготовительный участок	Г, О	Уб	200	150	200	40	20
обмоточный участок	Г; 0,8	-	-	-	300	40	20
Укладка обмоток, межфазовой изоляции: для малых машин	Г, О	Пв	2000	200	500	20	20/10
для средних и крупных машин	Г, О	Шв	750	150	300	40	20/15
Цех изготовления коллекторов	Г, О	Шб	1000	150	300	40	20/15
Сборка малых машин	Г, О	Пв	2000	200	500	20	20/10
Сборка средних и крупных машин	Г, О	Шв	750	150	300	40	20/15
Производство трансформаторов и высоковольтной аппаратуры							
Сборка пакета и магнитопровода: для трансформаторов I-III габаритов	Г, О	Шб	1000	150	300	40	20/15
для трансформаторов IV-VI габаритов	Г, О	IVб	500	150	200	40	20
Визуальный контроль магнитопровода	В	Шб	1250	150	-	20	20/10
Отделение изготовления обмоток: для трансформаторов I-III габаритов	Г	Шб	1000	150	300	40	20/15
для трансформаторов IV-VI габаритов и реакторов	Г	IVб	500	150	200	40	20

Продолжение таблицы А.7

Цех, участок	Плоскость, в которой нормируется освещенность (Г – горизонтальная, В – вертикальная); высота над полом, м	Разряд и подразряд зрительной работы	Минимальная освещенность, лк			Показатель ослепленности P , отн. ед., не более	Коэффициент пульсации k_n , %, не более
			Комбинированное освещение		Общее освещение		
			Всего	От общего			
Визуальный контроль обмоток	Г	Шб	1250	150	-	40	20/10
Сборка трансформаторов I-III габаритов и малогабаритной высоковольтной аппаратуры	В	Шб	1000	150	300	40	20/15
Сборка трансформаторов IV-VI габаритов и крупногабаритной высоковольтной аппаратуры	В	IVб	500	150	200	40	20
Цех малых трансформаторов	Г	Шб	3000	300	-	20	20/10

Таблица А.8 – Приблизительные значения коэффициентов отражения стен и потолка

Отражающая поверхность	Коэффициент отражения, %
Побеленный потолок; побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами	70
Побеленные стены при незанавешенных окнах; побеленный потолок в сырых помещениях; чистый бетонный и светлый деревянный потолок	50
Бетонный потолок в грязных помещениях; деревянный потолок; бетонные стены с окнами; стены, оклеенные светлыми обоями	30
Стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли; сплошное остекление без штор; красный кирпич неоштукатуренный; стены с темными обоями	10

Таблица А.9 – Значения коэффициентов использования, κ_u

КСС	$\rho_n = 0,7; \rho_c = 0,5; \rho_p = 0,3$						$\rho_n = 0,7; \rho_c = 0,5; \rho_p = 0,1$					
	Индекс помещения, i											
	0,6	0,8	1,25	2,0	3,0	5,0	0,6	0,8	1,25	2,0	3,0	5,0
М	35	50	61	73	83	95	34	47	56	66	75	86
Д-1	36	50	58	72	81	90	36	47	56	63	73	79
Д-2	44	52	68	84	93	100	42	51	64	76	84	92
Г-1	49	60	75	90	100	100	48	57	71	82	89	94
Г-2	58	68	82	96	100	100	55	64	78	86	92	96
Г-3	64	74	85	95	100	100	62	70	79	86	90	93
Г-4	70	77	84	90	100	100	65	71	78	83	86	87
К-1	74	83	90	96	100	100	69	76	83	88	91	92
К-2	75	84	95	100	100	100	71	78	87	95	97	100
К-3	76	85	96	100	100	100	73	80	90	94	99	100
Л	32	49	59	71	83	91	31	46	55	65	74	83
КСС	$\rho_n = 0,5; \rho_c = 0,5; \rho_p = 0,1$						$\rho_n = 0,5; \rho_c = 0,3; \rho_p = 0,1$					
	Индекс помещения, i											
	0,6	0,8	1,25	2,0	3,0	5,0	0,6	0,8	1,25	2,0	3,0	5,0
М	31	43	53	63	72	80	23	36	45	56	65	75
Д-1	34	47	54	63	70	77	27	40	48	55	65	73
Д-2	40	48	61	74	82	84	33	42	52	69	75	86
Г-1	44	53	69	77	83	80	41	48	64	76	70	88
Г-2	53	63	76	85	90	94	48	58	72	83	86	93
Г-3	61	68	78	84	88	91	57	65	75	83	86	90
Г-4	65	71	78	88	81	85	62	62	74	81	83	85
К-1	68	77	83	86	89	90	64	73	80	86	88	90
К-2	71	78	87	93	98	99	68	74	84	92	93	99
К-3	72	79	88	94	97	99	68	76	85	93	95	99
Л	30	45	55	65	70	78	24	40	49	60	70	76
КСС	$\rho_n = 0,7; \rho_c = 0,3; \rho_p = 0,1$						$\rho_n = 0,5; \rho_c = 0,5; \rho_p = 0,3$					
	Индекс помещения, i											
	0,6	0,8	1,25	2,0	3,0	5,0	0,6	0,8	1,25	2,0	3,0	5,0
М	26	36	46	56	67	80	32	45	55	67	74	84
Д-1	28	40	49	59	68	74	36	48	57	66	76	85
Д-2	33	43	56	74	80	76	42	51	65	71	80	85
Д-2	42	52	69	78	73	76	45	56	65	78	76	84
Г-1	48	60	73	84	90	94	55	66	80	92	98	100
Г-2	57	66	76	84	83	91	63	72	83	91	96	100
Г-3	62	69	76	81	84	85	68	73	81	87	91	94
Г-4	65	73	81	86	89	90	70	78	86	92	86	100
К-1	67	75	84	93	97	100	72	80	91	99	100	100
К-2	68	77	86	95	98	100	74	83	93	100	100	100
К-3	24	40	50	62	71	77	32	47	57	69	79	90

Продолжение таблицы А.9

КСС	$\rho_n = 0,3; \rho_c = 0,1; \rho_p = 0,1$						$\rho_n = 0; \rho_c = 0; \rho_p = 0$					
	Индекс помещения, i											
	0,6	0,8	1,25	2,0	3,0	5,0	0,6	0,8	1,25	2,0	3,0	5,0
М	17	29	38	46	58	67	16	28	38	45	55	65
Д-1	27	35	42	52	61	68	21	33	40	49	58	66
Д-2	28	36	48	63	75	81	25	33	47	61	70	78
Д-2	35	45	60	73	68	77	34	44	56	61	68	74
Г-1	43	54	68	79	85	90	43	53	66	77	82	86
Г-2	53	62	73	80	84	86	53	61	71	78	82	85
Г-3	61	66	72	78	81	83	59	65	71	78	80	81
Г-4	62	71	77	83	86	88	60	69	77	84	85	86
К-1	68	72	80	89	93	97	65	71	79	88	92	95
К-2	64	73	83	90	94	97	64	72	81	88	91	94
К-3	20	35	44	48	65	69	17	33	42	53	63	70

Таблица А.10 – Номенклатура и основные параметры базовых ЛЛ

Тип лампы	Номинальные значения характеристик		
ЛЛ	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт
ЛБ20-1	20	1200	60,0
ЛДЦ20	20	850	42,5
ЛЕЦ20	20	850	42,5
ЛБ40-1	40	3200	80,0
ЛДЦ40-1	40	2200	55,0
ЛЕЦ40-1	40	2190	54,0
ЛБ65-1	65	4800	73,8
ЛЕЦ65	65	3400	52,3
ЛБЦТ40	40	3000	75,0
ЛБЦТ40	40	3000	75,0

Таблица А.11 – Основные параметры ламп ДРЛ

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Световой поток, клм	Диаметр колбы, мм	Полная длина, мм	Тип цоколя	Средний срок службы, тыс.ч.
ДРЛ 50(15)	50	95	1,9	56	130	Е 27/27	10
ДРЛ 80(6) ДРЛ 80(10) ДРЛ 80(15)	80	115	3,3 3,6 3,6	73	160	Е 27/30 Е 27/30 Е 27/27	12
ДРЛ 125(6) ДРЛ 125(10) ДРЛ 125(15)	125	125	5,9 6,3 6,3	78	184 184 176	Е 27/30 Е 27/30 Е 27/27	12
ДРЛ 250(6)-4 ДРЛ 250(10)-4 ДРЛ 250(14)-4	250	130	13,0 13,5 13,5	91	227	Е 40/45	12
ДРЛ 400 (6)-4 ДРЛ 400(10)-4 ДРЛ 400(12)-4	400	135	23,5 24,0 24,0	122	292	Е 40/45	15
ДРЛ 700(6)-3 ДРЛ 700(10)-3 ДРЛ 700(12)-3	700	140	40,6 41,0 41,0	152	368	Е 40/45	20
ДРЛ 1000(6)-3 ДРЛ 1000(10)-3 ДРЛ 1000(12)-3	1000	145	58,0 59,0 59,0	178	400	Е 40/45	18
ДРЛ 2000	2000	270	120	187	445	Е 40/55 × 47	6

Таблица А.12 – Удельная мощность общего равномерного освещения при освещенности 100 лк с люминесцентными лампами

Расчетная высота, h , м	Площадь, S , м ²	Удельная мощность, Вт/м ² при освещенности 100 лк					
		Светильники с люминесцентными лампами ($\kappa = 1,5$; $z = 1,4$)					
		ЛПО 02-4 × 40 / П-02			ЛПР		
		ЛБ-40	ЛХБ-40, ЛТБ-40, ЛД-40	ЛДЦ-40	ЛБ-40	ЛХБ-40, ЛТБ-40, ЛД-40	ЛДЦ-40
2-3	10-15	7,4	8,8	10,8	7,2	8,6	10,3
	15-25	6,5	7,8	9,3	6,1	7,4	8,7
	25-50	5,5	6,5	7,9	5,3	6,2	7,5
	50-150	4,7	5,6	6,7	4,5	5,3	6,3
	150-300	4,2	5	6	4	4,7	5,7
	более 300	3,9	4,5	5,5	3,5	4,2	5,2
3-4	10-15	12,1	14	16	10,6	13,5	13,5
	15-20	8,8	10,3	12,4	8,4	10,2	12,4
	20-30	7,4	8,8	10,8	7,2	8,6	10,2
	30-50	6,4	7,6	9,1	6,1	7,3	8,6
	50-120	5,4	6,4	7,7	5,1	6	7,3
	120-300	4,6	5,5	6,7	4,4	5,2	6,3
	более 300	3,9	4,5	5,5	3,5	4,2	5,2
4-6	10-17	19	20	22	14,5	17,4	22
	17-25	14	15	16,5	11,2	14,5	19
	25-35	10	11	13,1	9	11,1	13,5
	35-50	7,8	0,2	11,3	7,8	9	10,8
	50-80	6,8	8	9,7	6,5	7,8	9,2
	80-150	5,9	7	8,2	5,6	6,7	9
	150-500	4,9	5,8	6,2	4,2	6,5	6,7
	более 500	3,9	4,5	5,4	3,5	4,2	6,2

Таблица А.13 – Удельная мощность общего равномерного освещения при освещенности 100 лк с лампами ДРЛ

Расчетная высота, h , м	Площадь, S , м ²	Удельная мощность Вт/м ² для светильников с лампами ДРЛ ($\rho_n = 0,5; \rho_c = 0,3; \rho_p = 0,1, \kappa = 15, z = 1,15$)			
		РСП 05/К 03 035 ДРЛ	РСП 08/Г 03 РСП 08/Г 5'3	РСП 05/ Г 03 034 ДРЛ	РСП 07 РСП 08/ Л 00 РСП 08/Л 5'0
6-8	50-65	7,3	8,3	6,7	16,3
	65-90	6,8	7,2	6,3	13,7
	90-135	6,2	6,5	5,9	11,3
	135-250	5,6	5,9	5,3	9,2
	250-500	5	5,2	4,9	7,2
	более 500	4,5	4,6	4,3	5,7
8-12	70-100	7,9	10,6	7,4	20,8
	100-130	7,4	8,4	6,8	16,5
	130-200	6,7	7,1	6,2	13,4
	200-300	6,4	6,4	5,7	10,9
	300-600	5,5	5,8	5,3	8,8
	600-1500	4,8	5,1	4,7	6,8
	более 1500	4,4	4,5	4,2	5,4
12-16	130-200	8	10,8	7,5	21,4
	200-350	7,1	8,1	6,5	15,3
	350-600	6,2	6,4	5,8	11,3
	600-1300	5,4	5,7	5,2	8,7
	1300-4000	4,8	4,9	4,6	6,5
	более 4000	4,3	4,4	4,1	5,2

Таблица А.14 – Значения удельной мощности общего равномерного освещения, Вт/м², при люминесцентных светильниках с лампами ЛБ-30, ЛБ-40 при $\rho_n = 0,5; \rho_c = 0,3; \rho_p = 0,1$

H_p , м	A , м ²	Тип светильника (СВ)													
		ЛСО 04							ШОД						
		E , лк													
		75	100	150	200	300	400	500	75	100	150	200	300	400	500
2-3	10-15	7,6	10,2	15,2	20,5	30,0	41	51	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	40	50
	15-25	6,4	8,5	12,8	17,0	25,5	34	43	6,4	8,6	12,9	17,2	26,0	34	43
	25-50	5,4	7,2	10,8	14,4	21,5	29	36	5,6	7,5	11,2	15,0	22,5	30	37
	50-150	4,4	5,9	8,8	11,8	17,6	33,5	30	4,8	6,6	9,6	12,6	19,2	25	31
	150-300	3,9	5,2	7,6	10,4	15,5	21	26	4,1	5,6	8,2	11,0	16,4	22	27
	более 300	3,7	4,9	7,4	9,8	14,8	19,6	25	3,9	5,2	7,8	10,4	15,6	21	26
3-4	10-15	10,4	13,8	21,0	27,5	42,0	55	96	10,5	14,0	21,0	28,0	42,0	56	70
	15-20	8,8	11,8	17,6	23,5	35,0	47	59	8,8	11,8	17,7	23,5	35,0	47	59
	20-30	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	40	50	7,3	9,8	14,6	19,6	29,0	39	49
	30-50	6,4	8,5	12,8	17,0	25,5	34	43	6,4	8,5	12,8	17,0	25,5	34	42
	50-120	5,3	7,0	10,6	14,0	21,0	28	25	5,5	7,4	11,0	14,8	22,0	29	37
	120-300	4,8	5,8	8,7	11,6	17,4	23	28	4,6	6,1	9,2	12,2	18,4	24	30
более 300	3,9	5,2	7,8	10,4	15,6	21	26	4,1	5,8	8,2	11,0	16,4	22	27	
4-6	10-17	13,9	18,5	28,0	37,0	55,0	74	92	14,6	19,5	29,0	39,0	58,0	78	107
	17-25	11,3	15,0	22,5	30,0	45,0	60	75	11,6	15,5	23,0	31,0	46,0	62	77
	25-35	9,7	13,0	19,4	26,0	39,0	52	65	9,6	12,8	19,2	22,5	38,0	51	64
	35-50	8,2	11,0	16,5	22,0	33,0	44	55	8,0	10,6	16,0	21,0	32,0	42	53
	50-80	7,0	9,3	14,0	18,6	28,0	37	47	6,7	9,0	13,5	18,0	27,0	36	45
	80-150	5,8	7,8	11,6	15,6	23,0	31	39	5,8	7,8	11,7	15,9	23,5	33	39
	150-400	4,7	6,3	9,4	12,6	18,8	25	32	5,0	6,7	10,0	13,4	20,0	27	33
	более 300	4,1	5,5	8,3	11,0	16,6	22	27	4,3	5,8	8,7	11,6	17,4	23	29

Таблица А.15 – Технические данные предохранителей ПН-2

Предохранители на ток, А	Плавкие вставки на ток, А	Предельный ток отключения при напряжении до 500 В, $\cos\varphi \geq 0,2$, А ₃
100	30 40 50 60 80 100	50000
250	80 100 120 150 200 250	40000
400	200 250 300 350 400	25000
600	300 400 500 600 1000	25000
1000	500 600 750 800	

Таблица А.16 – Технические данные предохранителей ПР-2

Предохранители на ток, А	Плавкие вставки на ток, А	Разрывная способность предохранителя напряжением 380 В при переменном токе 50 Гц и $\cos\varphi = 0,4$, не менее, А ₃	
		габарит I	габарит II
15	6 10 15	800	8000
60	15 20 25 35 45 60	1800	4500
100	60 80 100	6000	11000
200	100 125 160 200	6000	11000
350	200 225 260 300 350	6000	13000
600	350 430 500 600	13000	23000
1000	600 700 850 1000	14000	20000

Таблица А.17 – Технические данные автоматических выключателей серии АЕ 2000

Тип и номинальный ток выключателя	Номинальные токи расцепителей	Вид расцепителя
АЕ 2020 16 А	0,32; 0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6; 8; 10; 16	комбинированный или электромагнитный
АЕ 2030 25 А	0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	
АЕ 2040 63 А	10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	
АЕ 2050 100 А	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100	

Таблица А.18 – Технические данные автоматических выключателей серии ВА на токи до 250 А

Данные выключателей			Параметры выключателей		
			Номинальный ток расцепителей с обратозависимой характеристикой, А	Уставка срабатывания по току в кратности к $I_{НОМ}$, $I/I_{НОМ}$	
Тип	Номинальный ток, А	Число полюсов		электромагнитного расцепителя	с гидравлическим приводом
ВА 13-25	25	3	3,15; 5,0; 16; 25	7	
ВА 13-29	63	2; 3	0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 2,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	3; 6; 12	6; 12
ВА 14-26	32	1; 2; 3	16; 20; 25; 32	10	
ВА 16-26	31,5	1	6,3; 10; 16; 20; 25	14	
ВА 51-26	32	2; 3	3,15; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32	7; 10	
ВА 51Г-26	32	2; 3	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16; 20; 25; 32		
ВА 51-25	25	3		7; 10	
ВА 51Г-25	25	3			
ВА 51-31	100	1; 2; 3	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31; 63; 80; 100	3; 7,5; 10	
ВА 51Г-31	100	3	16; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	14	
ВА 51-33	160	2; 3	80; 100; 125; 160	10	
ВА 57-35	250	2; 3	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250	2,5; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0	

Таблица А.19 – Технические данные автоматических выключателей серии ВА на токи выше 250 А

№	Данные выключателей			Параметры выключателей		
				Номинальный ток расцепителей с обратнoзависимой характеристикой, А	Уставка срабатывания по току в кратности к $I_{НОМ}$, $I/I_{НОМ}$	
	Тип	Номинальный ток, А	Число полюсов		электромaгнитного расцепителя	с гидравлическим приводом
1	2	3	4	5	6	7
1	ВА 74-40	800	3	130; 190; 260; 375; 500; 625; 760; 800	2; 2,5; 3; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8	0,18; 0,38; 0,63; 1,0
2	ВА 74-43	1600	3	1250; 1600		
3	ВА 74-45	3000	3	2000; 2500; 3000		
4	ВА 74-48	5500	2; 3	4000; 5500		
5	ВА 81-41	1000	2; 3		6; 7	
6	ВА 83-41	1000	2; 3	250; 400; 630; 1000	2; 3; 4; 5; 6; 7	
7	ВА 51-39	630	2; 3	400; 500; 630	4; 5; 6; 8; 10	
8	ВА 52-39	630	2; 3	250; 320; 400; 500; 630	10	
9	ВА 53-43	1600	2; 3	1000; 1280; 1600	2; 3; 5; 7	
10	ВА 55-43	1600	2; 3	1000; 1280; 1600	2; 3; 5; 7	0,1; 0,2; 0,3
11	ВА 85-41	1000	2; 3	250; 400; 630; 1000	2; 3; 4; 5; 6; 7	0,1; 0,2; 0,3

Таблица А.20 – Технические данные выключателей серии А 3700

Тип выключа- теля	Номинальный ток расцепи- теля, А	Базовый номинальный ток, А	Калибруемые значения но- минального ра- бочего тока по- лупрово- дникового рас- цепителя, А	Уставка рас- цепителя по току срабаты- вания в зоне токов пере- грузки, крат- ная	Калибруемые значения уста- вок расцепителя в зоне токов КЗ		Пределы регу- лирования вре- мени срабаты- вания, с, при $I_{номрасц}$ перемен- ного тока	Уставка по то- ку срабатыва- ния электро- магни-тного расцепителя, А
					кратное $I_{номрасц}$ по току срабатывания,	с по времени срабатывания,		
Исполнение селективное с полупроводниковыми расцепителями								
А 3740 С А 3794 С	250 400 630	200 320 500	160; 200; 250; $I_{номрасц}$ 250; 320; 400; 400; 500; 630	$I_{номрасц}$ 1,25	2; 3; 5; 7; 10	0,1; 0,25; 0,4	4; 8; 16	нет
Исполнение токоограничивающее с полупроводниковыми и электромагнитными расцепителями								
А 3714 Б	160	32 63 125	20; 25; 32; 40 40; 50; 63; 80; 80; 100; 125; 160	1,25	2; 3; 5; 7; 10	выдер- жки време- ни нет	4; 8; 16	1600
А 3724 Б	250	200	160; 200; 250				2500	
А 3794 Б	250 400 630	200 320 500	160; 200; 250; 250; 320; 400; 400; 500; 630				4; 8; 16	2500 4000 6300

Таблица А.21 – Технические данные выключателей серии А 3700 с электромагнитными и тепловыми расцепителями

Тип выключателя	Номинальный ток электромагнитного расцепителя, А	Номинальные токи тепловых расцепителей, А, $I_{номтрасц}$	Уставка по току срабатывания электромагнитного расцепителя
А 3716 В	160	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	630
А 3716 Ф			630; 1600
А 3726 В	250	160; 200; 250	2500
А 3726 Ф			
А 3736 В	400	250; 320; 400	$10 \cdot I_{номтрасц}$
А 3736 Ф			
А 3796 Н	630	250; 320; 400; 500; 630	$10 \cdot I_{номтрасц}$

Таблица А.22 – Технические данные выключателей серии А 3700 (исполнение только с электромагнитным расцепителем максимального тока)

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Уставка по току срабатывания электромагнитного расцепителя, А
А 3712 В	160	630; 1000; 1600
А 3712 Ф		
А 3722 В	250	1600; 2000; 2500
А 3722 Ф		
А 3732 Ф	400	2500; 3200; 4000
А 3792 В	630	4000; 5000; 6300
Исполнение неавтоматическое (без расцепителей тока)		
А 3717 В	$I_{ном} = 160 \text{ А}$	нет
А 3717 Ф		
А 3718 В		
А 3718 Ф		
А 3727 В	$I_{ном} = 250 \text{ А}$	
А 3727 Ф		
А 3728 В		
А 3728 Ф		
А 3797 С	$I_{ном} = 630 \text{ А}$	
А 3798 С		

Приложение Б

Таблица Б.1 – Расчет трехфазных электрических нагрузок (форма 636-92)

Расчетная нагрузка	полная, кВА	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$		14	
	реактивная, кВАр	$Q_p = 1,1 \cdot \kappa_u \cdot P_{ном} \cdot tg\varphi$ при $n_{\text{э}} \leq 10$ $Q_p = \kappa_u \cdot P_{ном} \cdot tg\varphi$ при $n_{\text{э}} > 10$		13	
	активная, кВт	$P_p = \kappa_p \cdot \kappa_u \cdot P_{ном}$		12	
Коэффициент расчетной нагрузки κ_p				11	
Эффективное число ЭП	$n_{\text{э}} = \frac{(\sum P_{ном})^2}{\sum n \cdot P_{ном}^2}$			10	
Расчетная величина	$n \cdot P_{ном}^2$			9	
	$\kappa_u \cdot P_{ном} \cdot tg\varphi$			8	
	$\kappa_u \cdot P_{ном}$			7	
Исходные данные	По справочным данным	Коэффициент реактивной мощности $\frac{\cos \varphi}{tg\varphi}$		6	
		Коэффициент использования, κ_u		5	
	По заданию технолога	Номинальная установленная мощность	общая $P_{ном} = n \cdot P_{ном}$		4
			одного ЭП $P_{ном}$		3
			Количество ЭП n , шт.		2
			Наименование ЭП		1

Таблица Б.2 – Расчет однофазных электрических нагрузок

Наименование узлов питания групп ЭП	Установленная мощность одного ЭП, приведенная к ПВ = 100%, $P_{ном}$ (кВт)	Число ЭП	$\sum P_{ном}$ кВт	Установленная мощность однофазных ЭП, включенных на линейное напряжение, кВт			Коэффициент приведения к фазам			Установленная мощность однофазных ЭП, включенных на фазное напряжение, кВт			κ_u	$Cos\varphi / tg\varphi$	Средние нагрузки					
				ab	bc	ca	a	b	c	a	b	c			Активные $P_{см}$ кВт			Реактивные $Q_{см}$ кВАр		
															a	b	c	a	b	c
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

Таблица Б.3 – Расчет трехфазных нагрузок к задаче № 1

Исходные данные						Расчетная величина			n_{Σ}	K_p	Расчетная нагрузка			Расчетный ток, А
по заданию технолога				по справочным данным		сменная активная мощность	сменная реактивная мощность	$n \cdot P_{ном}^2$			активная, кВт	реактивная, кВАр	полная, кВА	
ЭП	шт.	$P_{ном}$	$\Sigma P_{ном}$	$K_{и}$	$\cos \varphi / \operatorname{tg} \varphi$	$P_{см}$	$Q_{см}$				P_p	Q_p	S_p	I_p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
станки разные	2	1,7	3,4	0,14	0,6 / 1,33	0,476	0,633	$2 \cdot 1,7^2$						
	4	0,6	2,4			0,336	0,447	$4 \cdot 0,6^2$						
	2	2,8	5,6			0,784	1,043	$2 \cdot 2,8^2$						
	1	2,8	2,8			0,392	0,521	$1 \cdot 2,8^2$						
кран-балка	1	2,4	2,4	0,35	0,82 / 0,698	0,84	0,586	$1 \cdot 2,4^2$						
вентилятор	1	10,0	10,0	0,65	0,8 / 0,75	6,5	4,875	$1 \cdot 10^2$						
ИТОГО	11		26,6	0,351		9,328	8,105	136,5	5	1,24	11,567	8,916	14,609	22,127

Таблица Б.4 – Расчет однофазных нагрузок к задаче № 2

Наименование ЭП	К-во, n шт.	Уст. мощность 1 ЭП, $P_{ном}$ ПВ = 100%	$\sum P_{ном}$, кВт	Установленная мощность ЭП, включенных на U_n			Установленная мощность ЭП, включенных на U_ϕ			Суммарная установленная мощность по фазам			K_u	$Cos\varphi / tg\varphi$	Средние нагрузки					
				AB	BC	CA	A	B	C	A	B	C			активные, $P_{см}$			реактивные, $Q_{см}$		
															A	B	C	A	B	C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Сварочный преобразователь (3-х фазный)	3	17,709	53,127							17,709	17,709	17,709	0,4	0,4 / 2,29	7,084	7,084	7,084	16,221	16,221	16,221
Электросварка шовная (однофазная) $U_{ном} = 380$ В	1	18,974	18,974	18,974						9,487	9,487		0,4	0,4 / 2,29	3,795	3,795		8,69	8,69	
Электросварка шовная (однофазная) $U_{ном} = 220$ В	1	6,325	6,325						6,325			6,325	0,4	0,4 / 2,29			2,53			5,794
Трансформатор сварочный (однофазный) $U_{ном} = 220$ В	3	7,906	23,718				7,90	67,906	7,906	7,906	7,906	7,906	0,4	0,5 / 1,73	3,162	3,162	3,162	5,471	5,471	5,471
Итого	8		102,144							35,102	35,102	31,94	0,4		14,041	14,041	12,776	30,382	30,382	27,486

Таблица Б.5 – Расчет трехфазных нагрузок к задаче № 4

Исходные данные						Расчетная величина						Расчетная нагрузка			Расчетный ток, А
по заданию технолога				по справочным данным		сменная активная мощность	сменная реактивная мощность	$n \cdot P_{ном}^2$				n_{ε}	K_p	активная, кВт	
ЭП	шт.	$P_{ном}$	$\Sigma P_{ном}$	$K_{и}$	$\cos \varphi / \operatorname{tg} \varphi$	$P_{см}$	$Q_{см}$				P_p	Q_p	S_p	I_p	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
станки	65	0,6÷45	375,73	0,14	0,6 / 1,33	52,602	69,961								
прессы	5	4,5÷20	63,7	0,2	0,7 / 1,02	12,74	12,995								
краны	6	0,85÷10	30,1	0,15	0,82 / 0,698	4,515	3,151								
вентиляторы	15	1,7÷10	117,4	0,65	0,8 / 0,75	76,31	57,233								
печи	8	1,1÷75	189,1	0,6	0,9 / 0,436	113,46	49,469								
выпрямители	1	7,0	7,0	0,5	0,9 / 0,436	3,5	1,526								
сварочное оборудование	6		105,168	0,4	0,54 / 1,55	42,0672	65,204								
молот, горно	1	10,8	10,8	0,4	0,7 / 1,02	4,32	4,406								
итого	107		898,998	0,344	0,761 / 0,853	309,514	263,945		39	0,75	232,136	263,954	351,502	532,579	