

## СОДЕРЖАНИЕ

1.	ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПРОЕКТА	5
2.	ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	6
3.	РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ДО 1 кВ	7
	Частные случаи определения расчетных нагрузок.	14
4.	РАСЧЕТ ОСВЕЩЕНИЯ	15
	4.1 СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	15
	Метод коэффициента использования светового потока.	15
	Точечный метод	22
	ПРИМЕР расчета освещения методом коэффициента использования светового потока на участке литья	24
	ПРИМЕР расчета освещения точечным методом на участке литья (точечным методом выполняется расчет освещения безопасности).	25
	Метод удельной мощности	26
	ПРИМЕР. Расчет осветительных нагрузок методом удельной мощности на единицу площади	26
	4.2 ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	27
	Выбор напряжения	27
	Напряжение для переносных светильников	28
	Уровни и колебания напряжения	28
	Источники питания	28
	Выбор схемы питания	29
	Выбор мест установки групповых щитков	33
	Рекомендации по компоновке групповой сети	33
	Управление освещением	34
	Расчет сечений проводников	34
	ПРИМЕР выбора сечения проводников осветительной сети	36
5.	ВЫБОР СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ	39
	ПРИМЕР выбора мощности силовых трансформаторов и расчета компенсации реактивной мощности.	41
6.	ВЫБОР СХЕМЫ И КОНСТРУКТИВНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ВНУТРИЦЕХОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ	44
7.	ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ, КАБЕЛЕЙ, ШИН ПО ДОПУСТИМОМУ ДЛИТЕЛЬНОМУ ТОКУ И ПОТЕРЕ НАПРЯЖЕНИЯ	45
	ПРИМЕР расчета сечений проводников питающих сетей	50
	ПРИМЕР расчета сечений проводов распределительной сетей	50
	ПРИМЕР выбора кабеля для конденсаторной установки	51
8.	РАСЧЕТ ТОКОВ К.З. В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ	52
	Расчет сопротивлений различных элементов схемы замещения	53
	Расчет начального действующего значения периодической составляющей тока трехфазного к.з. $I_{по}$ (кА).	56
	Расчет аperiodической составляющей тока к.з.	57
	Расчет ударного тока к.з.	58
	Расчет токов несимметричных к.з.	58
	ПРИМЕР расчета токов к.з.	59
9.	ВЫБОР КОММУТАЦИОННОЙ И ЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ (ШКАФОВ)	62
	9.1 ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ СЕРИЙ ВА51, ВА52, ВА53, ВА55, ВА56 И ВА75	64
	9.2 ПЛАВКИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛИ	66



9.3	КОНТАКТОРЫ, МАГНИТНЫЕ ПУСКАТЕЛИ, РУБИЛЬНИКИ	67
9.4	СИЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПУНКТЫ	68
10.	ВЫБОР ЗАЩИТНЫХ УСТАВОК РАСЦЕПИТЕЛЕЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И ПЛАВКИХ ВСТАВОК ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ	71
	Выбор уставок расцепителей выключателей	72
	Выбор времени срабатывания	73
	Плавкие предохранители.	73
	Проверка выбранных сечений проводников по условию обеспечения защитой	74
	Проверка на динамическую устойчивость.	76
	ПРИМЕР выбора коммутационно – защитной аппаратуры.	76
11.	ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	78
	РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	88
	ПРИЛОЖЕНИЕ П1. Шинопроводы	89
	Магистральные шинопроводы	89
	Распределительные шинопроводы	106
	Осветительные шинопроводы	124
	Одножильные кабели больших сечений	133
	ПРИЛОЖЕНИЕ П2. Трубы для цеховых электрических сетей	134
	ПРИЛОЖЕНИЕ П3. Шкафы распределительные ПР8501	138
	ПРИЛОЖЕНИЕ П4. Технические характеристики КТП	144
	ПРИЛОЖЕНИЕ П5. Трансформаторы тока	151
	ПРИЛОЖЕНИЕ П6. Выбор проводников по нагреву. Поправочные коэффициенты	156
	ПРИЛОЖЕНИЕ П7. Степени защиты персонала и электротехнических изделий	161
	ПРИЛОЖЕНИЕ П8. Автоматические выключатели, плавкие предохранители	164
	ПРИЛОЖЕНИЕ П9. Троллейные линии	170
	ПРИЛОЖЕНИЕ П10. Электрическое освещение	173
	ПРИЛОЖЕНИЕ П11. Преобразование исходной схемы замещения в эквивалентную результирующую	180
	ПРИЛОЖЕНИЕ П12. Комплексная нагрузка	182
	ПРИЛОЖЕНИЕ П13. Сопротивление дуги	186
	ПРИЛОЖЕНИЕ П14. Расчет периодической составляющей тока кз от автономных источников электроэнергии в произвольный момент времени	190
	ПРИЛОЖЕНИЕ П15. Увеличение активного сопротивления кабелей	192
	ПРИЛОЖЕНИЕ П16. Пример расчета токов кз	194
	ПРИЛОЖЕНИЕ П17. Магнитные пускатели, предохранители ПП, ППД, ПР	199
	ПРИЛОЖЕНИЕ П18. Светильники	212
	ПРИЛОЖЕНИЕ П19. Однофазные нагрузки	238
	ПРИЛОЖЕНИЕ П20. Требования к оформлению пояснительной записки	242
	ПРИЛОЖЕНИЕ П21. Примеры выполнения чертежей	246

теор  
зада  
прое  
дире

зада

элек  
прок

указ  
реж

мест  
элек

(по с

расс

пони

пос

разр

хар:  
хар:

про  
ши

мет  
еди



## 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПРОЕКТА

Целью проектирования внутрицехового электроснабжения является закрепление теоретического курса, развитие навыков самостоятельного решения комплекса инженерных задач в области электроснабжения промпредприятий, приобщение студента к использованию в проекте современных рекомендаций, различной технической и справочной литературы, директивных материалов.

*Задание на курсовой (дипломный) проект* выдается руководителем на кафедре. В задании на проектирование предусматриваются следующие исходные данные:

1. Наименование темы.
2. План цеха с изображением на нем основного технологического оборудования с электроприемниками, обслуживаемыми техпроцесс, крановых установок, границ производственных участков.
3. Ведомость (спецификация) электроприемников по участкам (отделениям) с указанием рода тока, напряжения, номинальной мощности, их количества, назначения и режима работы.
4. Краткие сведения о техпроцессе цеха, характере работы электроприемников и их месте в общей цепи техпроцесса, число смен и загрузка смен, суточный и годовой графики электрических нагрузок (допускается использовать типовые графики).
5. Характеристика условий среды производственных помещений, надежности питания (по справочным материалам).
6. Сведения о возможных внешних источниках питания для проектируемого цеха, расстояние до источника питания.

Дополнительные исходные данные:

- значение токов короткого замыкания на источнике питания (на шинах главной понизительной подстанции);
- способ прокладки кабельных линий 6 (10) кВ и их мето ввода в цех;

В курсовом проект должны входить следующие обязательные элементы в такой последовательности.

- *Титульный лист* (см. приложение П19).
  - *Техническое задание*.
  - *Реферат* (см. приложение П19).
  - *Ведомость курсового проекта* (см. приложение П19).
  - *Содержание*.
  - *Введение*, в котором отмечаются современные технические решения по разрабатываемой теме.
  - *Электрическая часть примерно следующего содержания*.
1. Краткое описание технологического процесса цеха, классификация и общие характеристики потребителей энергии, категории надежности электроснабжения потребителей; характеристики окружающей среды помещений.
  2. Расчет электрических нагрузок по проектируемым отделениям (участкам) или по проектируемым присоединениям групп электроприемников к силовым распределителям или шинопроводам (метод коэффициента максимума).
  3. Расчет электрического освещения: светотехнический расчет (одного помещения методом коэффициента использования светового потока, остальных – по удельной мощности на единицу поверхности) и электротехнический расчет.
  4. Аварийное освещение.
  5. Выбор силовых трансформаторов и компенсирующих устройств.
  6. Выбор схемы и конструктивного исполнения цеховых ТП, РУ.
  7. Выбор схемы внешнего электроснабжения.
  8. Выбор схемы питающих сетей внутрицехового электроснабжения.



9. Выбор схемы распределительных сетей одного отделения цеха.
  10. Проверка выбранных проводников на потерю напряжения.
  11. Предварительный выбор коммутационно-защитной аппаратуры силовых и осветительных сетей.
  12. Расчет токов короткого замыкания.
  13. Проверка сетей и коммутационно-защитной аппаратуры.
- *Заключение.*  
— *Графическая часть* (см. приложение П20).

1. Принципиальная схема КТП (на схеме указываются: напряжение шин источника питания цеховой ТП; тип выключателя ВН; марка, сечение, длина питающего кабеля; тип силового трансформатора, трансформаторов тока, выключателей ввода и отходящих линий; распределительные силовые пункты и осветительные щитки рабочего и аварийного освещения; отдельные крупные электроприемники; конденсаторные установки; приборы учета и измерения электроэнергии);

2. План цеха с питающими силовыми сетями, (на плане указываются: место расположения цеховой ТП с кабельным вводом ВН; распределительные пункты или шинопроводы; питающие линии с указанием марки, сечения, длины и способа прокладки; крановые установки с троллеями);

3. План отделения (участка цеха) с силовыми распределительными сетями от РП или ШРА к установленным в отделении электроприемникам;

4. План отделения (участка цеха) с групповыми осветительными сетями и осветительными приборами, аварийное освещение (на чертеже указываются места установки групповых осветительных щитков рабочего и аварийного освещения с поясняющими надписями у щитков и питающих линий. Указываются типы светильников, количество и мощность ламп в них, высота подвеса, принятая нормативная освещенность. На плане групповой сети подписываются марки, сечения, длины проводников и способы прокладки, а также разбивка светильников по подгруппам для уменьшения стробоскопического эффекта);

5. Принципиальная схема участка распределительной сети.

Курсовой проект (курсовая работа) состоит из расчетно-пояснительной записки и 5 чертежей стандартного формата А2 (594 x 420) или А3 (297x420), в дипломном проекте выполняются - 7 чертежей формата А1 (594x841). Кроме того, в пояснительной записке должны содержаться рисунки и схемы, поясняющие излагаемые вопросы. После примера расчета все остальные результаты расчетов рекомендуется сводить в таблицы. При оценке проекта особое внимание уделяется обоснованиям принятых технических решений.

## 2. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В начале проектирования необходимо составить представление о технологии производства, об условиях окружающей среды производственных помещений, о категории надежности питания ответственных электроприемников, о режиме работы электроприемников и их месте в общей цепи технологического процесса. Последнее очень важно для правильного построения схемы электроснабжения цеха. Так, питание электроприемников, взаимосвязанных общим технологическим процессом, рекомендуется осуществлять от общих магистралей, поскольку повреждение или нарушение питания любого из них вызывает необходимость остановки всего техпроцесса. Наоборот, когда в системе технологического процесса возможна самостоятельная работа каждого звена технологической цепи, то требуется независимое питание электроприемников таких звеньев.

Представление о характере технологического процесса можно составить, пользуясь специальной литературой по электрооборудованию соответствующих отраслей промышленности.

при  
преж  
разн  
лиц,  
замь

по п  
схем  
степ  
пост

выбс

наде

Расч  
прое  
прис  
при

разб  
коэф  
рекс  
граф  
(кра  
крат  
прак  
вып

знам

мош  
элек  
наиб

рабо  
= 1 п



Условия окружающей среды производственных помещений являются определяющими при выборе конструкции и способа выполнения сети. Окружающая среда может вызывать преждевременное разрушение изоляции проводников, самого проводникового материала и разного рода защитных оболочек и крепежных деталей; создавать повышенную опасность для лиц, обслуживающих сеть или случайно соприкасающихся с нею; приводить к коротким замыканиям в сети и способствовать возникновению пожаров или взрывов.

Определять категории надежности питания следует по электроприемникам (ЭП), а не по цеху в целом. Необоснованное отнесение ЭП к высшей категории усложняет и удорожает схему электроснабжения (ЭС). Отделения цехов или отдельные группы ЭП, требующие разной степени надежности питания, надо проектировать с различными условиями резервирования при построении схемы ЭС.

В проекте еще до расчета электрических нагрузок должен быть рассмотрен вопрос о выборе рода тока и величины напряжения для силовой и осветительной сети.

Основные сведения по условиям производственной среды в цехе и категории надежности питания должны быть помещены в табл.2.1.

Таблица 2.1. Характеристики условий среды и надежности питания

№	Наименование отделения (участка) цеха	Условия производственной среды	Категории надежности питания

### 3. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ДО 1 кВ

Расчет выполняется методом упорядоченных диаграмм (коэффициента максимума). Расчет необходим для выбора мощности цеховых трансформаторов, а также сечений проводников питающих линий к РП или ШРА. Поэтому расчет ведется по узлам сети присоединений электроприемников (отделениям, участкам или РП, ШРА). Пример расчета приводится в таблице 3.1.

В графе 1 записывают наименование узла и все ЭП, присоединенные к узлу, разбиваемые на однородные по режиму работы группы с одинаковыми значениями коэффициентов использования и коэффициентов мощности. Наименование групп ЭП в узле рекомендуется приводить в следующем порядке: ЭП длительного режима с переменным графиком работы (станки, прессы, молоты); ЭП повторно-кратковременного режима работы (краны, тельферы, сварочные агрегаты с указанием ПВ% и номинального напряжения); ЭП кратковременного режима работы (могут при определении нагрузок не учитываться); ЭП практически с постоянным графиком работы (вентиляторы, насосы, нагревательные печи, выпрямители); ЭП - синхронные ЭД с указанием  $\cos \varphi_{\text{ном}}$ .

В графе 2 в числителе записывают количество рабочих электроприемников, а в знаменателе - резервных. В дальнейших расчетах резервные ЭП не учитываются.

В графе 3 по каждой группе электроприемников записываются при одинаковой мощности электроприемников группы - номинальная мощность одного электроприемника; при электроприемниках различной мощности - номинальная мощность наименьшего и через тире наибольшего по мощности электроприемника в группе.

Номинальная мощность электроприемников повторно-кратковременного режима работы определяется приведением паспортной мощности к продолжительности включения  $PВ = 1$  по формуле:

$$P_n = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{PВ}, \text{ кВт.}$$

Для сварочных трансформаторов номинальная мощность равна

$$P_n = S_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{PВ} \cdot \cos \varphi, \text{ кВт.}$$



Таблица 3.1. Расчет электрических нагрузок ЭП напряжением до 1 кВ

Наименование узлов питания и групп ЭП	Кол-во ЭП	Установленная мощность, $P_{ном}$ (ЛВ 100%)		m	$\frac{K_{и}}{K_{загр}}$	$\frac{\cos\varphi}{\text{tg}\varphi}$	Среднесменная нагрузка		$\frac{K_{М.а}}{K_{М.р}}$	Расчетная нагрузка				$\frac{I_p}{I_{пик}}$ А
		$P_{min}$	$P_{max}$				$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , квар		$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВт·А		
		кВт	кВт										8	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Узел 1														
Группа А														
- пресс д/отделен. огливок	1	3,0	3,0		0,20/0,92	0,65/1,17	0,60	0,70		1/1	2,76	3,23		
Группа Б														
- эл.печь прокатки блоков	4	80,0	320,0		0,60	0,95/0,33		63,36			192,0	63,36		
Итого по узлу 1	5	3,0-80,0	323,0		0,59	0,95/0,33		64,06			194,76	66,59		$\frac{312,73}{345,20}$
Узел 2														
- эл.печь прокатки блоков	4	80,0	320,0		0,60	0,95/0,33		63,36		1/1	192,0	63,36		$\frac{307,20}{307,20}$
Узел 3														
Группа А														
- кран-балка	1	6,0	6,0		0,35/0,92	0,8/0,75		1,58			5,52	4,14		
Группа Б														
- эл.печь прокатки блоков	4	80,0	320,0		0,60	0,95/0,33		63,36		1/1	192,0	63,36		$\frac{317,14}{368,90}$
Итого по узлу 3	5	6,0-80,0	326,0		0,60	0,94/0,33		64,94			197,52	67,50		
Узел 4														
Группа А														
- решетка д/выбивки опок	2	2,0	4,0		0,45	0,60/1,33		2,39						
-уст. д/отделен. керамики	3	2,0	6,0		0,45	0,60/1,33		3,59						
Итого по группе А	5	2,0	10,0	<3	0,45			5,98	5	1,67/1,1	7,52	6,58		
Группа Б														
-ванна выщелачивания	5	30,0	150,0		0,64	0,80/0,75		72,0		1/1	96,0	72,0		$\frac{197,46}{445,90}$
Итого по узлу 4	10	2,0-30,0	160,0		0,63	0,79/0,76		77,98			103,52	78,58		
Узел 5														
Группа А														
-прессы кривошипные	2	7,8-8,0	15,8		0,20	0,65/1,17		3,70						
-бегуны д/приготовл.	2	30,0	60,0		0,24	0,65/1,17		16,85						
Итого по группе А	4	7,8-30,0	75,8	>3	0,23	0,90/0,50		20,55	4	2,6/1,1	45,66	22,61		

Э	Н	В	9	Г	Р	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----







1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Группа Б	1	3,0	3,0		0,64	0,80/0,75	1,92	1,44						
	1	1,5	1,5		0,70	0,80/0,75	1,05	0,79						
	2	6,0	12,0		0,80	1,0/-	9,60	-						
	4	1,5-6,0	16,5		0,76	0,98/0,18	12,57	2,23	1/1		12,57	2,23		
	8	1,5-30,0	92,3		0,34	0,92/0,43	30,13	22,78			58,23	24,84	63,31	96,20
Итого по узлу 5														
Узел 6	3	5,0	15,0		0,13	0,45/1,98	1,95	3,86						
	1	0,6	0,6		0,12	0,40/2,29	0,07	0,16						
	1	2,0	2,0		0,14	0,50/1,73	0,28	0,48						
	1	30,0	30,0		0,35	0,70/1,02	10,50	10,71						
	1	8,0	8,0		0,12	0,50/1,73	0,96	1,66						
Итого по узлу 6														
Узел 7	8	0,6-30,0	58,3	>3	0,24	0,88/0,53	14,08	17,61	4	2,6/1,1	36,61	19,38	41,42	62,94
	4	5,0-6,0	21,0		0,20	0,65/1,17	7,50	8,78						181,6
	2	5,0	10,0		0,13	0,45/1,98	1,30	2,57						
Итого по узлу 7														
Узел 8	6	5,0-6,0	31,0	<3	0,28	0,80/0,76	8,80	11,35	6	1,88/1,1	16,54	12,49	20,73	31,49
	3	5,5	16,5		0,20	0,65/1,17	3,30	3,86						98,80
	1	7,0	7,0		0,12	0,50/1,73	0,84	1,45						
	1	8,70	8,70		0,14	0,50/1,73	1,22	2,11						
	1	3,0	3,0		0,24	0,65/1,17	0,72	0,84						
Итого по узлу 8														
Узел 9	7	3,0-8,7	41,2	<3	0,20	0,85/0,63	8,18	9,84	7	2,1/1,1	17,18	10,82	20,3	30,85
	1	2,0	2,0		0,24	0,65/1,17	0,48	0,56						159,30
	1	10,0	10,0		0,37	0,47/1,89	3,70	6,99						
	2	2,0-10,0	12,0	>3	0,35/0,9	0,79/0,77	4,18	7,55			10,80	19,12		
	1	1,0	1,0		0,60	1,0/-	0,60	-						
Итого по группе А														
Группа Б	1	3,0	3,0		0,65	0,65/1,17	1,95	2,28						
	1	15,0	15,0		0,65	1,0/-	9,75	-						
	1	5,0	5,0		0,70	0,75/0,88	3,50	3,08						
	4	1,0-15,0	24,0		0,66	0,95/0,34	15,80	5,36	1/1		15,80	5,36		
	Итого по группе Б													



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Итого по узлу 9</b>		6	1,0-15,0	36,0		0,56	0,74/0,92	19,98	12,91			26,60	24,48	36,15	54,92 195,10
<b>Узел 10</b>															
<b>Группа А</b>															
-пастопритовитель		2	2,0	4,0		0,24	0,65/1,17	0,96	1,12						
-шприцмашина		2	10,0	20,0		0,37	0,47/1,89	7,40	13,99						
-гельфер		1	1,5	1,5		0,30	0,50/1,73	0,45	0,78						
-станок д/подрезки чаш		1	2,0	2,0		0,13	0,40/2,29	0,26	0,60						
<b>Итого по группе А</b>		6	1,5-10,0	27,5	>3	0,30		9,07	16,49	6	1,88/1,1	17,05	18,14		
<b>Группа Б</b>															
-стол д/лайки блоков		1	1,0	1,0		0,60	1,0/-	0,60	-						
-бак плавильный		2	15,0	30,0		0,65	1,0/-	19,5	-						
-автомат модельн. звеньев		2	3,0	6,0		0,60	0,72/0,96	3,60	3,46						
-бак д/обмазки блоков		2	3,0	6,0		0,64	0,80/0,75	3,84	2,88						
-ванна вытопки		1	4,0	4,0		0,60	1,0/-	2,40	-						
-конвейер сушки блоков		1	5,5	5,5		0,70	0,75/0,88	3,85	3,39						
<b>Итого по группе Б</b>		9	1,0-15,0	52,5		0,64	0,96/0,28	33,79	9,73	1/1		33,79	9,73		
<b>Итого по узлу 10</b>		15	1,0-15,0	80		0,61	0,88/0,55	42,86	26,22			50,84	27,87	57,98	88,09 237,80
Освещение		-	-	33,96			0,91/0,46	32,11	14,72			32,11	14,72	35,32	53,67
<b>Итого по КТП</b>		74	0,6-80,0	1514,76	>3	0,55	0,92/0,43	835,34	385,78	38	1,13/1,0	943,93	410,63	1029,38	1564,0



Применительно к многодвигательному пиводу и крановым установкам под термином «электроприемник» следует понимать весь агрегат в целом, а под его номинальной мощностью - сумму номинальных мощностей всех его электродвигателей.

В графе 4 записывают суммарную номинальную мощность всех электроприемников группы: в числителе - рабочих, в знаменателе - резервных.

Номинальная мощность группы электроприемников определяется как сумма номинальных мощностей отдельных рабочих электроприемников, приведенных к ПВ=1, (кроме резервных)  $P_n = \sum p_n$ .

Графа 5 заполняется для расчетного узла (отделения, участка или РП, ШРА) величиной  $m = p_{n \text{ наиб.}} / p_{n \text{ наим.}}$ , где  $p_{n \text{ наиб.}}$  и  $p_{n \text{ наим.}}$  - номинальные активные мощности наибольшего и наименьшего ЭП в группе. В графе записывается величина  $>3$  или  $\leq 3$ , которая влияет на способ определения  $n_3$  - эффективного числа ЭП.

В графы 6 и 7 заносятся значения  $k_n$  и  $\cos \varphi$  отдельных групп электроприемников. Значения коэффициентов использования и мощности для характерных электроприемников приводятся в табл.3.2 или литературе (О-3 с.35-43; Д-4 с.11-37; Д-5 с.33; Д-6 с.83).

При отсутствии данных о величине номинального коэффициента мощности для двигателей длительного режима можно принять  $\cos \varphi$  равным 0,8, а для двигателей повторно-кратковременного режима - 0,75.

В графах 8 и 9 для каждой группы электроприемников проставляют значения активной и реактивной мощности за наиболее загруженную смену, определяемые из выражений:

$$P_{см} = k_n \cdot P_n \quad \text{и} \quad Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi.$$

На этом все расчеты по отдельным группам электроприемников заканчиваются и начинаются расчеты по отдельным узлам сети (силовым пунктам, магистралям, участкам).

Путем отдельного суммирования активных и реактивных составляющих мощностей по группам электроприемников находят их значения для отдельных узлов (участков); проставляют эти значения в итогах граф 8 и 9. Расчетные нагрузки ЭП, работающих с опережающим коэффициентом мощности (синхронные ЭД, статические конденсаторы), должны приниматься со знаком «минус». После этого в итогах граф 6 и 7 проставляют средневзвешенные значения расчетных коэффициентов, определяемых из выражений:

$$k_n = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_n} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\sum Q_{см}}{\sum P_{см}}$$

В графе 10 записывается эффективное число электроприемников  $n_3$ . Под  $n_3$  понимается такое число однородных по режиму работы ЭП одинаковой мощности, которое обуславливает ту же величину расчетной нагрузки, что и группа различных по мощности и режиму работы ЭП.

1) С целью упрощения расчетов эффективное число ЭП может быть принято фактическому ( $n_3 = n$ ) при величине  $m \leq 3$ . При определении величины  $m$  и выборе мощности  $p_{n \text{ наим.}}$  могут быть исключены те наименьшие ЭП группы, суммарная мощность которых меньше 5% номинальной мощности всей группы. Число этих наименьших ЭП при определении  $n_3$  также не учитывается.

2) Если в группе  $m > 3$  и  $k_n \geq 0,2$ , то эффективное число электроприемников  $n_3$  рекомендуется определять по формуле:

$$n_3 = 2 \cdot \sum p_n / p_{n \text{ наиб.}},$$

где  $\sum p_n$  - суммарная номинальная мощность всех электроприемников данного узла;

$p_{n \text{ наиб.}}$  - номинальная мощность наибольшего электроприемника того же узла.

Когда найденное по этой формуле  $n_3$  оказывается больше фактического числа электроприемников  $n$ , следует принимать  $n_3 = n$ .

3) Если  $k_n < 0,2$ , то эффективное число ЭП определяется в следующем порядке: выбирается наибольший по номинальной мощности ЭП рассматриваемого узла, выбираются наиболее крупные ЭП, номинальная мощность каждого из которых равна или больше половины мощности наибольшего ЭП, и для них подсчитывается число  $n_1$  и суммарная мощность  $p_{n1}$ ,



затем подсчитывается суммарная номинальная мощность всех ЭП рассматриваемого узла  $P_n$  и находятся относительные значения  $n_{1*} = n_1/n$  и  $p_{1*} = P_{n1}/P_n$ ; по полученным значениям  $n_{1*}$  и  $p_{1*}$  по кривым рис.1 или таблицам (О-3 с. 50; О-5 с. 48) сначала определяется  $n_{3*}$ , а затем  $n_3 = n_{3*} \cdot n$ .

В графе 11 записывается в числителе коэффициент максимума  $K_{ма}$  для активной мощности; а в знаменателе - коэффициент максимума для реактивной мощности  $K_{мр}$ .

Величина  $K_{ма}$  определяется в зависимости от значений  $K_n$  и  $n_3$  по табл. 3.3 или кривым (О-3 с.48; О-6 с.40; Д-7 с.55). Можно принимать  $K_{ма} = 1$  при  $n_3 > 200$  и любых значениях  $K_n$ , а также при  $K_n > 0,6$  и любых значениях  $n_3$ .

Величина  $K_{мр}$  для узлов, участков может быть принята: а)  $K_{мр} = 1,1$  при  $n_3 \leq 10$ , б)  $K_{мр} = 1$ , при  $n_3 > 10$  или с учетом коэффициента использования:

$K_n$	$>0,2$		$\leq 0,2$	
$n_3$	$\leq 10$	$>10$	$\leq 100$	$>100$
$K_{мр}$	1,1	1,0	1,1	1,0

В графах 12 и 13 записываются соответственно расчетные активная и реактивная нагрузки по расчетному узлу, определяемые по формулам:

$$P_p = K_{ма} \cdot P_{см} \quad \text{и} \quad Q_p = K_{мр} \cdot Q_{см}$$

В графах 14 и 15 записывается соответственно расчетная полная мощность и ток по узлу (распределительному пункту, магистрали) или цеху, определяемые из выражений:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{нл}}$$

Таблица 3.2. Показатели электрических нагрузок.

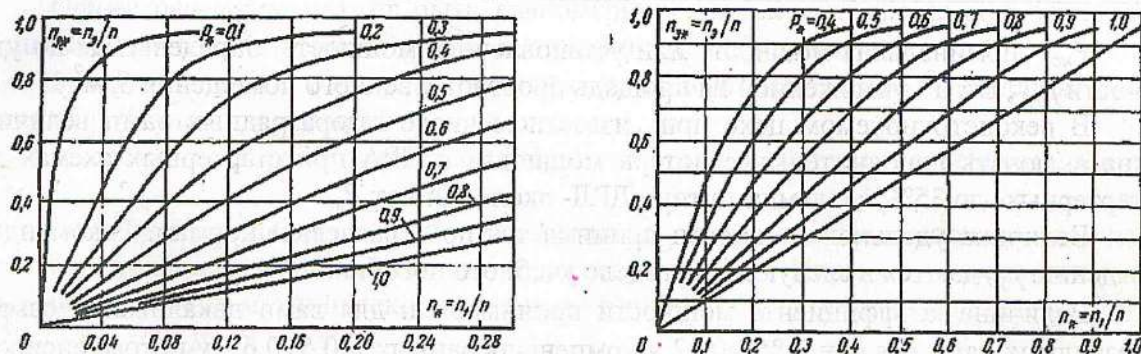
Электроприемники	$K_n$	$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$
Металлорежущие станки мелкосерийного производства: токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные и т.п.	0,12-0,14	0,4-0,5	2,3-1,73
То же, при тяжелом режиме: штамповочные, прессы, обдирочные, зубофрезерные, расточные станки	0,17-0,2	0,65	1,17
То же, в особо тяжелом режиме: приводы молотов, ковочных машин	0,24	0,65	1,17
Многошпиндельные автоматы для изготовления деталей из прутков	0,2	0,5	1,73
Переносной электроинструмент	0,06	0,5	1,73
Вентиляторы, насосы, компрессоры	0,65-0,8	0,8	0,75
Краны мостовые, кран-балки, тельферы, лифты	0,15-0,35	0,8	0,75
Печи сопротивления с периодической загрузкой	0,6	0,95-0,98	0,33-0,2
Мелкие нагревательные приборы	0,6	1	0
Индукционные печи Н.Ч.	0,7	0,35	2,58
Двигат.-генер. индукц. печей В.Ч.	0,7	0,8	0,75
Сварочные трансформаторы дуговой сварки	0,3	0,35	2,58
Дуговые сталеплавильные печи емкостью 0,5-1,5 Т для фасонного литья (во вспомогательных цехах)	0,5	0,8	0,75
Дуговые печи цветного металла (медные сплавы) емкостью 0,25-0,5 Т	0,7	0,75	0,88

Таблица 3.3. Определение  $K_m$  в зависимости от  $K_n$  и  $n_3$

$n_3$	Значение $K_m$ при $K_n$									
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14	
5	3,23	2,87	2,42	2	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12	
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,1	
7	2,88	2,48	2,1	1,8	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09	
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,4	1,3	1,2	1,08	
9	2,56	2,2	1,9	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08	
10	2,42	2,1	1,84	1,6	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07	
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07	
14	2,1	1,85	1,67	1,45	1,32	1,25	1,2	1,13	1,07	
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07	
18	1,91	1,7	1,55	1,37	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06	



20	1,84	1,65	1,5	1,34	1,24	1,2	1,15	1,11	1,06
25	1,71	1,55	1,4	1,28	1,21	1,17	1,14	1,1	1,06
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,1	1,05
40	1,5	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05
50	1,4	1,3	1,23	1,16	1,14	1,11	1,1	1,08	1,04
60	1,32	1,25	1,19	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,03
70	1,27	1,22	1,17	1,12	1,1	1,1	1,09	1,06	1,03
80	1,25	1,2	1,15	1,11	1,1	1,1	1,08	1,06	1,03
90	1,23	1,18	1,13	1,1	1,09	1,09	1,08	1,05	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,1	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02
120	1,19	1,16	1,12	1,09	1,07	1,07	1,07	1,05	1,02
140	1,17	1,15	1,11	1,08	1,06	1,06	1,06	1,05	1,02
160	1,16	1,13	1,1	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02

Рисунок 1. Определение  $p_{3*} = f(p_{1*}, p_{1*})$ 

В графе 15 в знаменателе записывается пиковый ток группы ЭП, определяемый по формуле:

$$I_{\text{тик}} = I_{\text{пуск.м.}} + (I_p - K_{\text{и}} \cdot I_{\text{н.м}}),$$

где  $I_{\text{пуск.м.}}$  - наибольший из пусковых токов двигателей в группе;  $I_{\text{н.м}}$  - номинальный ток двигателя с наибольшим пусковым током;  $I_p$  - расчетный ток нагрузки всех электроприемников;  $K_{\text{и}}$  - коэффициент использования наибольшего электроприёмника.

Пусковой ток одного электроприемника (при отсутствии более точных паспортных данных) может быть принят:

- для асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором или синхронного двигателя равным 5÷7-кратному от номинального;
- для двигателя постоянного тока или асинхронного с фазным ротором равным не ниже 2,5-кратного от номинального;
- для печных и сварочных трансформаторов не менее 3-кратного от номинального без приведения к ПВ-100%.

Пиковый ток машин контактной сварки определяется специальным расчетом (О-5 с.50 и О-3 с.64).

Пиковый ток при проектировании принимают за основу расчетов колебания напряжения, выбора устройств и уставок защиты и проверки электрических сетей по условиям запуска электродвигателей.

Для определения общих нагрузок по трансформатору, подстанции или по цеху в целом к силовым нагрузкам необходимо добавить осветительную нагрузку.

Для осветительных ЭП расчетная активная и реактивная мощности принимаются равными средним за наиболее загруженную смену и определяются по формулам:

$$P_{\text{смо}} = K_{\text{со}} \cdot \sum P_{\text{но}} \quad \text{и} \quad Q_{\text{смо}} = P_{\text{смо}} \cdot \text{tg } \varphi,$$

где  $K_{\text{со}}$  - коэффициент спроса, принимаемый по табл. 3.4.

Значения коэффициента спроса осветительных нагрузок увеличиваются по направлению от ввода к потребителям; для линий, питающих отдельные щитки, а также для



линий групповой сети  $K_{co}$  принимается равным 1,0. Коэффициент спроса осветительных нагрузок всех звеньев сети аварийного освещения, а также сети наружного освещения следует принимать равным 1,0.

Таблица 3.4. Значения  $K_{co}$ , для питающей сети внутреннего освещения и вводов осветительной сети в здания

Здания или группы помещений	$K_{co}$
Небольшие производственные здания	1
Производственные здания, состоящие из отдельных крупных пролетов	0,95
Производственные здания, состоящие из многих отдельных помещений	0,85
Административно-бытовые, инженерно-лабораторные здания и помещения, проектно-конструкторские организации, учебные заведения, предприятия общественного питания	0,8
Складские здания и помещения, состоящие из многих отдельных помещений, электрические подстанций	0,6
Линии питающей сети к одному групповому щитку в зданиях и помещениях всех назначений	1

$P_{но}$  - номинальная мощность или установленная мощность, определяемая по удельной мощности  $p_{уд}$ , Вт/м<sup>2</sup>, умноженной на площадь производственного помещения  $S$ , м<sup>2</sup>.

В реконструируемом цехе при известном числе газоразрядных ламп величина  $P_{но}$  должна включать дополнительные потери мощности в ПРА при стартерных схемах до 25%, бесстартерных - до 35%, а с лампами типа ДРЛ - около 10% от  $P_{л}$ .

Величина удельной мощности принимается по отраслевым нормам. Рекомендации по нахождению  $p_{уд}$  даются в следующем разделе учебного пособия.

Величина коэффициента мощности принимается: для ламп накаливания  $\cos\phi=1$ ; для газоразрядных ламп  $\cos\phi = 0,85 \div 0,92$  у компенсированных и  $0,5 \div 0,6$  - у некомпенсированных ламп.

#### Частные случаи определения расчетных нагрузок.

Расчетная мощность группы электроприемников длительного режима работы с практически постоянным графиком нагрузки (насосы водоснабжения, вентиляторы, компрессоры, печи сопротивления, нагревательные приборы, дымососы, некоторые транспортеры, конвейеры и т.п.) принимается равной средней мощности за наиболее загруженную смену:  $P_p = P_{см}$ .

При наличии в расчетном узле группы электроприемников как с переменным, так и группы с практически постоянным графиком, расчетные нагрузки этих групп электроприемников определяются отдельно, а суммарная расчетная нагрузка по узлу в целом находится алгебраическим сложением по формулам:

$$P_p = P_{p1} + P_{p2} = K_{ма} \cdot P_{см1} + P_{см2};$$

$$Q_p = Q_{p1} + Q_{p2} = Q_{см1} \text{ (или } 1,1 \cdot Q_{см1}) + Q_{см2}.$$

В случае отсутствия данных о принадлежности ЭП к группе с практически постоянным графиком нагрузки все ЭП относятся к приемникам с переменным графиком нагрузки.

Расчетная активная мощность группы ЭП для многодвигательного привода, имеющего три или менее трех электроприемников, определяется как сумма их номинальных мощностей. Для одного крана расчетная мощность принимается равной номинальной мощности двух наиболее мощных ЭП, а при нескольких кранах - с учетом  $n_3$  и  $K_{ма}$  (О-5 с.47).

При числе ЭП в группе больше трех, но при эффективном их числе меньше четырех расчетная нагрузка принимается как для группы ЭП с  $n_3 = 4$ , причем, величина расчетной нагрузки должна быть не менее суммы номинальных мощностей трех наибольших ЭП.

Расчетная мощность одного, двух и трех электроприемников принимается равной сумме номинальных мощностей этих ЭП с учетом коэффициента загрузки этих ЭП.



## 4. РАСЧЕТ ОСВЕЩЕНИЯ

### 4.1 СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

#### Метод коэффициента использования светового потока.

Этот метод применяется для помещений, в которых предусматривается общее равномерное освещение горизонтальных поверхностей при отсутствии крупных затеняющих предметов. Метод применим для расчета освещения помещений светильниками как с лампами накаливания, так и с люминесцентными.

При проектировании искусственного освещения внутри помещений необходимо выбрать вид освещения (рабочее, аварийное, дежурное освещение) и систему освещения (общее или комбинированное освещение).

Общее освещение может быть равномерным или локализованным в зависимости от особенностей производственного процесса и размещения оборудования.

Комбинированное освещение состоит из общего освещения помещения и местного освещения рабочих поверхностей.

Местное освещение является дополнительным к общему освещению на рабочих местах.

Рабочее освещение должно обеспечивать необходимые условия для работы в нормальных условиях, создавая нормативную освещенность. Нормы освещенности некоторых помещений ремонтно-механического цеха даны в табл.4.1, а по остальным производствам в (О-2 с.329; О-4 с.249; Д-2 с.93).

Аварийное освещение подразделяется на освещение безопасности и эвакуационное.

Освещение безопасности - освещения для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения. Освещение безопасности предусматривается для производственных помещений, в которых недопустимо прекращение работ из-за опасности вызвать взрыв, пожар, отравление людей; длительное нарушение технологического процесса и работы ответственных потребителей.

Светильники освещения безопасности и светильники рабочего освещения должны питаться от независимых источников питания. Освещение безопасности должно создавать в помещениях на рабочих поверхностях, требующих обслуживания при отключении рабочего освещения, наименьшую освещенность в размере 5% освещенности, нормируемой для рабочего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк для территорий предприятия. При этом создавать наименьшую освещенность внутри зданий более 30 лк при газоразрядных лампах и более 10 лк при лампах накаливания допускается при наличии соответствующего обоснования.

Эвакуационное освещение в помещениях следует предусматривать по основным проходам и лестницам производственных помещений, в которых работает более 20 человек и выход людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения связан с опасностью травматизма из-за продолжения работы производственного оборудования. Эвакуационное освещение должно обеспечить освещенность не менее 0,5 лк (О-4 с.205) на полу основных проходов и на ступенях лестниц и не менее 0,2 лк на открытых территориях.

Светильники аварийного освещения (освещения безопасности, эвакуационного) допускается предусматривать горящими одновременно со светильниками рабочего освещения, создавая общую освещенность согласно норм, и не горящими, автоматически включаемыми при прекращении питания нормального освещения. Для питания аварийного освещения при небольшой мощности его в целях упрощения и удешевления ЭУ бывает целесообразно использовать линии силовой питающей сети (О-2 с.344).

Дежурное освещение для охраны помещений в нерабочее время может обеспечиваться за счет части светильников рабочего или аварийного освещения; освещенность и показатели его не нормируются.

Более подробно требования к аварийному освещению приводятся в приложении П10.



Для освещения помещений в качестве источников света следует использовать, как правило, наиболее экономичные разрядные лампы низкого давления (люминесцентные) или лампы высокого давления (РЛВД: ртутные типа ДРЛ, металлогалогенные типа ДРИ, натриевые ДНаТ и др.). Люминесцентные лампы (л.л.) применяются в основном в помещениях высотой до 6 м, а РЛВД - в производственных помещениях более 6 м. Лампы типа РЛВД не проектируют для аварийного освещения из-за длительного времени их зажигания (Лампы ДРЛ загораются вновь через 10 мин). При использовании л.л. в качестве источников аварийного освещения необходимо выполнить условия: температура окружающей среды не должна быть ниже +5°C и напряжение у осветительных приборов должно быть не менее 90% номинального. Для аварийного освещения (освещения безопасности и эвакуационного) следует применять лампы накаливания и при допустимых условиях - л.л.

При выборе типа светильника (см. табл. 4.2 – 4.6) в каждом помещении должны учитываться условия окружающей среды, требуемое распределение светового потока, зависящее от кривой силы света (КСС) конкретного светильника. Светораспределение светильника характеризуется *классом* (в зависимости от долей светового потока, излучаемого в верхнюю и нижнюю полусферы) и *типом кривой силы света (КСС)*.

Таблица 4.1. Нормы освещения помещений РМЦ

Наименование помещения	Н <sub>р</sub>	Разряд зрительных работ	Общая освещенность и коэфф. запаса				Условия среды
			л.л. и РЛВД		л.н.		
			Е, лк	к	Е, лк	к	
Механическое отделение	Г-0,8	IV	200 к	1,5	150 к	1,3	Н
Инструментальное	Г-0,0	II	300 к	1,5	(150) к	1,3	Н
Шлифовально-заточное	Г-0,8	II	200 к	1,6	(150) к	1,3	П
Сборочное	Г-0,8	III	300	1,5	(200)	1,3	Н
Заготовительное	Г-0,8	V	150	1,6	(100)	1,3	П
Кузнечное	Г-0,8	V-VII	200	1,8	150	1,5	П,Ж
Термическое	Г-0,8	VII	200	1,7	50	1,5	П,Ж
Гальваническое	Г-0,8	III	300 к	1,6	(150) к	1,3	Х
Трубное и жестяницкое	Г-0,8	IV	200	1,5	(150)	1,3	Н
Сварочное	Г-0,0	VII	200	1,8	(150)	1,5	П
Литейное	Г-0,0	VII	200	1,8	(150)	1,5	П,Ж
Холодноштамповочное	Г-0,8	V	200	1,5	150	1,3	Н
Электроремонтное	Г-0,8	III	300	1,5	(200)	1,3	Н
Склады матер., инструм. и др.	Г-0,0	VI	75	1,5	30	1,3	Н
Помещения КТП							
- фасад	В-1,5	IV	100	1,5	(75)	1,3	Н
- зад.сторона	В-1,5	IV	100	1,5	(50)	1,3	Н
Лаборатории: химические, физические и др.	Г-0,8	II	300	1,5	(150)	1,3	Н
Помещ. программистов ЭВМ	Г-0,8	II	400	1,5	(200)	1,3	Н
Конструкторские бюро	Г-0,8	II	500	1,5	(300)	1,3	Н
Классы для занятий, конторы, кабинеты	Г-0,8	II	300	1,5	(150)	1,3	Н
Буфеты, кухня	Г-0,8	X	200	1,5	100	1,3	Н
Душевые, гардеробы	Г-0,0	XIII	(75)	1,5	30	1,3	ОС
Рекреации	Г-0,0	XII	150	1,5	75	1,3	Н
Коридоры и проходы	Г-0,0	XII	75	1,5	30	1,3	Н

Светильники относятся к классу прямого света (П), если световой поток в нижнюю полусферу составляет более 80% общего потока; к классу преимущественного прямого света (Н) - 60-80% ; к классу рассеянного света (Р) - 40-60% и другим классам, мало применяемым для производственных помещений РМЦ.

При выборе типа кривой распределения силы света (КСС), источника света и типа светильника следует руководствоваться табл. 4.4 – 4.6 или (О-4 табл. 12-3, 12-4 и 13-1). Выбор степени защиты светильника в зависимости от условий среды проводится по табл. 4.2 и 4.3.







Таблица 4.3. Типы светильников по номерам групп в соответствии с табл.4.2

Номер группы светильников	Источник света	Типы светильников
1	ЛЛ	ЛД, ЛСП02, ЛСП06, ЛСП13, ЛПО30, ЛПО46, УСП4, ЛСО02, ЛСО04, ЛСО05, ШОД, ЛПР, ЛПН, СВ, ЛПО09, БЛ2, БЛ5, ЛПО13, ЛВО05, ЛВО03, ЛВО08
	ЛН РЛВД	НСП17, НКП01, НКС01, СВП, НВО04, ПКЛ, ПКР, НСО02, Арт.98-08 РСП05, РСП17, РСП18, РВО01, РСП21, РС002, ГСП05, ГСП17, ГСП18, ГВО01, ГВО02, ГСО02, ЖСП17, ГПО02
2	ЛЛ	ЛПО02, ЛПО03, БЛ2, ЛПО16, ЛПО21, ЛПО30, ЛПО31, ЛПО33, УСП5, УСП11, УСП35, Л2010Г, Л2010Б, ЛПБ02, ГПБ01, ЛВО01, ЛВО03, ЛВО05, ЛНП01, МЛ
	ЛН РЛВД	НСО02, НПО01, НПО20, НПО30, НБО06, Арт.38-06 ГВО02, ГЖВО01, ГПО02
3	ЛН	БКВ-60
4	ЛН	НСП04
5	РЛВД	РСП08, РСП21, ЖСП01
6 улица	ЛН	НКУ01, СПО
	РЛВД	РКУ01, РКУ02, РКУ03, ЖКУ01, ЖКУ02, ЖКУ03
7	ЛЛ	ВЛ1
9	ЛН	СЗЛ
10	ЛН	НСП17, НСП19, НСП20, НСП21, НСП22
	РЛВД	РСП14, РСП20, РСП21, ГСП15, ССП04, ЖСП20, РСП08
11	ЛЛ	ПВЛМ, ЛСП18, ЛСП22
	ЛН	НСП21
	РЛВД	РСП08, РСП13, РСП21
12	ЛН	НСП09, НСП02
13	РЛВД	РСП21, ЖСП01
14 улица	ЛН	СЗП
	РЛВД	СЗПР, РКУ02, РКУ03, РТУ01, РТУ02, ГКУ03, ЖКУ01
15	ЛЛ	ПВЛП, ЛСП16, ЛПО25М, ЛВП04, ЛВП05, ЛВП06
	ЛН	НСР01, ПСХ-60М, НСП03М-60, НКП01
	РЛВД	РПП01, ГПП01, ЖПП01
16	ЛН	НСП11, НСП20, НСП22
	РЛВД	РСП16, РСП20, РСП11, РСП12, РСП17, ГСП15, ГСП20
17	ЛН	НСП11
18	ЛН	НПП03
19	ЛЛ	ЛСП18
	ЛН	НКП01
20	ЛН	В4А, В3Г, В3Г/В4А, ПВ, ФВН
	РЛВД	ОМР, РСП25, ГСП15

Таблица 4.4. Основные данные светильников с.л.л. для общего освещения производственных помещений

Тип светильника	Источник света		Степень защиты	Класс светораспределения	КСС	к.п.д. %	l, мм
	кол-во	мощность, Вт					
ЛД	2	40, 80	IP20	П	Д-2	75	1240
ЛД	2	80	IP20	П	Д-2	75	1540
ЛСП02	2	40	IP20	П	Д-2	72	1240
ЛСП02	2	65, 80	IP20	Н	Д-2	72	1540
ЛСП13	2	40	IP20	П	Л, Г-2	75	1275
ЛСП18	1	40	5'0; 5'4	Н	Д-1	85	1348
ЛСП18	1	65	5'0; 5'4	Н	Д-1	85	1630
ЛСП16(ПВЛП)	2	40	IP54	Н	Д-1	65	1350
ПВЛМ	2	40	5'0	П	Д-1	70	1325
ПВЛМ	2	80	5'0	П	Д-1	70	1625
ЛСП22	2	65	5'0	П	Д-2, Д-1	75	1625
ЛВП04	4	65, 80	IP54	П	Г-1	45	1630



Таблица 4.5. Основные данные светильников с.л.л. для общего освещения общественных помещений

Тип светильника	Источник света		Степень защиты	Класс светораспределения	КСС	Общий к.п.д., %	l, мм
	кол-во	мощность, Вт					
ЛПО01	2	40, (65)	IP20	Н	Д-1	65	1313, (-)
ЛПО02	2	20, 40, 65	IP20	П	Д-2, Г-1	52	655, 1296, 1565
	4	20	IP20	П	Г-1, Г-2	50	655
	1	20, 40	IP20	Н	Д-1	57	655, 1296
ЛПО13	2, 4	40, 65, 80	IP20	П	Г-1	55	1380, 1680
ЛПО46	1, 2	40	IP20	Н	Д-1	70, 50	1250
ЛСО02	2, 4	40, 65, 80	IP20	Р	Г-2	70	1265, 1565
ЛВО01	2, 4	20, 40, 65	IP20	П	Д-2, Г-1	55	630, 1260, 1560

Таблица 4.6. Основные данные светильников с РЛВД для общего освещения производственных помещений

Тип светильника	Источник света		Степень защиты	Класс светораспределения	КСС	Общий к.п.д., %
	тип	мощн., Вт				
С34ДРЛ	РЛВД	250, 400 700, 1000	IP20	П	Г-3	75
С35ДРЛ	РЛВД	250, 400 700, 1000	IP20	П	Г-3	75
РСПО5	РЛВД	250, 400 700, 1000	IP20	П	К-1	75
РСП10	РЛВД	2000	IP20	П	Г-3, К-2	75
РСП11	РЛВД	400	IP52	П	Д-1	70
РСП12	РЛВД	700	IP52	П	Д-3	62
РСП13	РЛВД	400, 700 1000	IP54	П	Г-1	70
РСП14	РЛВД	2 x 400	IP60	П	Г-1	62
РСП16	РЛВД	2 x 400 2 x 700	IP52	П	Г-1	62
РСП17	РЛВД	250, 400 700, 1000	IP20; 5'2	П	Г-4	77
РСП18	РЛВД	250, 400 700, 1000	IP20	П	Г-1	80
ГСП17	МГЛ	700	IP20	П	Г-2	75
ГСП18	МГЛ	250, 400 700, 1000	IP20	П	Г-3	75
ЖСП17	НЛВД	400	IP20	П	Г-2, Д-2	70
ЖСП01	НЛВД	400	IP23; 5'3	П	Г-4	75
ЖСП20	НЛВД	250	5'0	П	Г-4, К-2	75
					Г-4, К-2	70
					К-2	70

Таблица 4.7. Характерные строительные параметры и рекомендуемые ИС и ОП общего освещения для механических и инструментальных цехов

Строительный модуль	Высота, м	Тип ИС	Светильники общего освещения		
			тип КСС	степень защиты	типы светильник.
6 x 9	6-7,2	ЛЛ	Л, Г-2,	IP20	ЛСП13
			Д-2, Д-2(Г-1)		ЛД, ЛСП02
6 x 12	3,2-6	ЛЛ	Д-2, Д-2(Г-1)	IP20	ЛД, ЛСП02
			Д-2, Д-2(Г-1)		ЛД, ЛСП02
6 x 18 и 6 x 24	4,8-6 6-12	ЛЛ	Д-2, Д-2(Г-1)	IP20	ЛД, ЛСП02
			Г-2		ЛСП13
6 x 24	12-15	ДРЛ	Г-1, Г-2	IP20	РСП17, РСП18
		ДРЛ	Г-1, Г-2, Г-3(К-2)		РСП17, 18, 10,
		МГЛ	Г-3, К-1		С34ДРЛ, С35ДРЛ
			Г-3, Г-2(Д-2)		ГСП17, ГСП18

Потребный световой поток лампы в каждом светильнике находится по формуле

$$\Phi = \frac{E_M \cdot K \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}$$



где  $E_M$  - нормативная минимальная освещенность, лк;  $\kappa$  - коэффициент запаса;  $S$  - освещаемая площадь, м<sup>2</sup>;  $z$  - отношение  $E_{ср}/E_M$ ;  $N$  - число светильников;  $\eta$  - коэффициент использования светового потока.

По рассчитанному потоку  $\Phi$  подбирают по табл. 4.10 или (Д-2 с.12-29) ближайшую стандартную лампу такой мощности, световой поток которой не должен отличаться более чем на +20 или -10%. При невозможности выбора с таким приближением изменяется число  $N$ . При расчете люминесцентного освещения чаще всего первоначально намечается число рядов  $n$ , которое подставляется в формулу вместо  $N$ . Тогда под  $\Phi$  следует подразумевать поток ламп одного ряда.

В табл. 4.1 приводятся величина коэффициента запаса  $\kappa$  и значения норм освещенности для различных помещений. Величина  $z$  в расчетной формуле принимается равной 1,15 для ламп накаливания и ДРЛ, а для люминесцентных ламп - 1,1.

Коэффициент использования светового потока  $\eta$  определяется как произведение

$$\eta = \eta_c \cdot \eta_n,$$

где  $\eta_c$  - к.п.д. светильника (принимается для выбранного светильника по табл. 4.4, 4.5, 4.6);

$\eta_n$  - коэффициент использования помещения (табл. 4.8) или (О-4 с.189).

Для определения  $\eta_n$  находится индекс помещения  $i$ :

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)},$$

где  $A$  и  $B$  - длина и ширина помещения, м;  $H_p$  - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м.

По табл. 4.8 в зависимости от индекса помещения  $i$  и наиболее часто встречающихся сочетаний коэффициентов отражения поверхностей помещения: потолка -  $\rho_n$ , стен -  $\rho_c$ , расчетной поверхности (пола) -  $\rho_p$ , а также формы кривой силы света (КСС) светильника находится приближенное значение  $\eta_n$  в относительных единицах.

Таким образом можно получить расчетную величину  $\eta$ . Значения  $\eta$  для распространенных типов светильников также можно определить по табл. 5-3 ÷ 5-10 (Д-2 с.128), а также по табл. 5-11 ÷ 5-18 (Д-2 с.136) для светильников со сходными светотехническими характеристиками, объединенными в группы. Номера групп расшифрованы в табл. 3-2 (Д-2 с.40).

Таблица 4.8. Коэффициенты использования помещений  $\eta_n$ , %

$\rho_n$	$\rho_c$	$\rho_p$	$i$	Кривая силы света, КСС								
				Д-1	Д-2	Г-1	Г-2	Г-3	Г-4	К-1	К-2	Л
0,3	0,1	0,1	0,6	27	28	35	43	53	61	62	68	20
			0,8	35	36	45	54	62	66	71	72	35
			1,25	42	48	60	68	73	72	77	80	44
			2	52	63	73	79	80	78	83	89	48
			3	61	75	68	85	84	81	86	93	65
5	68	81	77	90	86	83	88	97	69			
0,5	0,3	0,1	0,6	27	33	41	48	57	62	64	68	24
			0,8	40	42	48	58	65	68	73	74	40
			1,25	48	52	64	72	75	74	80	84	49
			2	55	69	76	83	83	81	86	92	60
			3	65	75	70	86	86	83	89	93	70
5	73	86	88	93	90	85	90	99	76			
0,7	0,5	0,3	0,6	36	44	49	58	64	70	74	75	32
			0,8	50	52	60	68	74	77	83	84	49
			1,25	58	68	75	82	85	84	90	95	59
			2	72	84	90	96	95	90	96	104	71
			3	81	93	101	102	100	94	100	106	83
5	105	111	106	108	105	99	106	115	24			



Размещать светильники с РЛВД и л.н. для создания общего освещения наиболее целесообразно по углам прямоугольника или в шахматном порядке. Люминесцентные лампы располагают рядами. Выбор расстояния между светильниками зависит от типа светильника, высоты подвеса над рабочей поверхностью. В светотехнике пользуются понятием относительного расстояния между светильниками  $\lambda = L/H_p$ , где  $L$  - расстояние между светильниками или рядами. Уменьшение  $\lambda$  удорожает устройство и обслуживание освещения, а чрезмерное увеличение ведет к резкой неравномерности освещенности. Рекомендации по выбору величины  $\lambda$  приводятся в табл. 4.9.

Таблица 4.9. Рекомендуемые значения  $\lambda$  для светильников с типовыми кривыми распределения силы света (КСС)

Типы КСС	Рекомендуемые	Максимально допустимые	Типы КСС	Рекомендуемые	Максимально допустимые
К	0,4-0,7	0,9	М	1,8-2,6	3,4
Г	0,8-1,2	1,4	Л	1,4-2,0	2,3
Д	1,2-1,6	2,1			

Примечание: К - концентрированная; Г - глубокая; Д - косинусная; М - равномерная; Л - полуширокая.

Ряды люминесцентных светильников следует, как правило, располагать параллельно длинной стороне помещения со световыми проемами. Если световые проемы расположены на короткой стороне помещения, то ряды светильников могут быть расположены как угодно. Расстояние от крайнего ряда светильников до стен не должно превышать 0,3 (как исключение до 0,5) расстояния между рядами светильников  $L$ .

Таблица 4.10. Световой поток л.л., РЛВД и л.н.

Тип лампы	Мощность, Вт	Расчетное значение $\Phi$ , лм	Тип лампы	Мощность, Вт	Расчетное значение $\Phi$ , лм
ЛДЦ 40	40	1995	ДРЛ	80	3200
ЛД 40		2225		125	5600
ЛХБ 40		2470		250	11000
ЛТБ 40		2450		400	19000
ЛБ 40		2850		700	35000
ЛХБЦ 40		2000		1000	50000
ЛДЦ 65	65	2900	ДРИ	250	18700
ЛД 65		3390		400	32000
ЛХБ 65		3630		700	59500
ЛТБ 65		3780		1000	90000
ЛБ 65		4325			
ЛДЦ 80	80	3380	л.н.	150	2000
ЛД 80		3865		200	2800
ЛХБ 80		4220		300	3600
ЛТБ 80		4300		500	8300
ЛБ 80		4960		750	13100
ЛХБ 150		150		8000	1000
			1500	29000	

Таким образом, расчет по методу коэффициента использования светового потока ведется в следующем порядке:

- определяется требуемая нормами освещенность  $E_m$  и по конфигурации помещения выбирается тип и число светильников  $N$  при наиболее выгодном их расположении;
- находится индекс помещения;
- находится сочетание коэффициентов отражения потолка, стен и расчетной поверхности;
- определяется коэффициент использования светового потока для данного типа светильника;
- подстановкой в основную формулу определяется расчетный световой поток одной лампы;



- выбирается мощность лампы, световой поток которой близок или совпадает с полученной расчетной величиной.

*Качество освещения* оценивается следующими показателями: равномерность распределения освещенности, коэффициент пульсации, показатель ослепленности.

*Равномерность распределения освещенности* достигается правильным выбором типа КСС светильников и их размещением в пространстве согласно рекомендаций для отношения  $\lambda = L/H_p$  в табл. 4.12. При выполнении этих условий значение показателя ослепленности находится в пределах нормы.

*Коэффициент пульсации  $k_n$*  оценивает глубину колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока разрядных ламп при их питании переменным током.

Ограничение  $k_n$  достигается:

- включением люминесцентных ламп по схемам, обеспечивающим питание части ламп в светильнике отстающим, части ламп - опережающим током (расщепление фазы);
- поочередным присоединением соседних светильников в ряду (реже соседних рядов) к разным фазам сети;
- установкой в одной точке двух или трех светильников разных фаз (лампы ДРЛ и ДРИ);
- питание различных ламп в многоламповых люминесцентных светильниках от разных фаз;
- применение л.л. марки ЛБ и ЛТБ.

Таблица 4.11. Нормированные значения  $k_n$ , %

Система освещения	Разряд зрительных работ		
	I, II	III	IV-VII
Система общего освещения	10	15	20
Система комбинированного освещения			
- общее	20	20	20
- местное	10	15	20

Для наиболее распространенных светильников с лампами типа ДРЛ в табл. 4.12 указаны для различных случаев расположения и фазирования светильников предельные отношения расстояния между светильниками  $L$  к расчетной высоте  $H_p$ , при которых соблюдаются нормированные значения  $k_n$ . Через  $B$  в таблицах обозначено расстояние между рядами. В случаях, когда  $L/H_p$  указано в виде дроби, числитель относится к полям прямоугольной формы, знаменатель - к шахматному расположению светильников.

Распределение л.л. между фазами в трехфазной группе в порядке А-В-С, А-В-С, ... обеспечивает снижение пульсаций и дает относительно равномерное распределение освещенности при отключении части фаз. Иное распределение А-А..., В-В..., С-С.. применяется в тех случаях, когда освещение цеха должно отключаться по участкам.

#### Точечный метод.

В отличие от метода коэффициента использования точечный метод позволяет рассчитывать освещенность не только на горизонтальной поверхности при наличии или отсутствии затенений, но и на поверхностях, различным образом расположенных в пространстве (вертикально, наклонно), когда отраженный свет не играет существенной роли. Этот метод применяется для расчета общего равномерного, общего локализованного, местного и наружного освещения. Точечный метод позволяет определить освещенность от источников света в заданной точке при условии, что расположение источников нам известно. Совокупное действие ближайших светильников дает в рассматриваемой точке суммарную освещенность (О-1 с.263, Д-2 с.176).



Таблица 4.12. Предельные расстояния между светильниками с лампами ДРЛ, при которых обеспечиваются нормальные значения  $\kappa_n$

Число рядов	Расположение и фазирование светильников	$V/H_p$	Наибольшие значения $L/H_p$ , обеспечивающие $\kappa_n$ % не более			
			10	15	20	30
Светильники с КСС типа Д						
1	Одиночные светильники: А-В-С-А-В-С	--	0,45	0,6	0,7	0,9
	Сдвоенные светильники: АВ-СА-ВС-АВ-СА-ВС	--	0,8	1,1	1,3	1,8
2 и более	Одиночные светильники: 1 ряд А-В-С-А-В-С 2 ряд В-С-А-В-С-А и т.д.	0,3	0,7/0,9	1,0/1,1	1,2/1,4	1,8
		0,6	0,6	0,9	1,1	1,6
		0,9	0,35/0,5	0,7	0,95	1,2/1,3
		1,2	0,3/0,5	0,65	0,8	1,1
		1,8	0,2/0,45	0,6	0,75	1,0
	Сдвоенные светильники: 1 ряд АВ-СА-ВС-АВ-СА-ВС 2 ряд ВС-АВ-СА-ВС-АВ-СА и т.д.	0,3	0,8/0,4	1,2/1,4	1,8	1,8
		0,6		1,2	1,8	
		0,9		1,15	1,7/1,8	
		1,2		1,1	1,6/1,7	
		1,8		1,1	1,4/1,6	
Светильники с КСС типа Г						
1	Одиночные светильники: А-В-С-А-В-С	--	0,45	0,5	0,6	0,7
	Сдвоенные светильники: АВ-СА-ВС-АВ-СА-ВС	--	0,55	0,75	0,95	1,2
2 и более	Одиночные светильники: 1 ряд А-В-С-А-В-С 2 ряд В-С-А-В-С-А и т.д.	0,3	0,55/0,75	0,7/0,9	0,9/1	1,2
		0,45	0,5/0,65	0,65/0,75	0,8/0,9	1,2
		0,6	0,5	0,65	0,75	1,1
		0,75	0,45	0,6	0,7	0,85
		0,9	0,4	0,5	0,65	0,8
	Сдвоенные светильники: 1 ряд АВ-СА-ВС-АВ-СА-ВС 2 ряд ВС-АВ-СА-ВС-АВ-СА и т.д.	1,2	0,4	0,45	0,6	0,7
		0,3	0,6/0,5	0,9/0,7	1,2/1,0	1,2
		0,45		0,85/0,7		
		0,6		0,85/0,7		
		0,9		0,8/0,7	1	
1,2	0,7	1				

Примечание: В - расстояние между рядами; в случаях, когда L/H указано в виде дроби, числитель относится к полям прямоугольной формы, знаменатель - к шахматному расположению светильников.

В проектной практике при расчете точечным методом пользуются пространственными кривыми условной освещенности (изолюксами). Эти кривые составлены для стандартных светильников при световом потоке условной лампы 1000 лм в прямоугольной системе в зависимости от расчетной высоты  $H_p$  и от расстояния  $d$  проекции светильника на горизонтальную поверхность до заданной точки. Пространственные изолюксы условной освещенности для стандартных светильников приведены в (Д-2 с.177-192).

Расчет точечным методом производится в следующем порядке:

- по кривым для выбранного типа стандартного светильника находят для каждого значения расчетной высоты  $H_p$  и расстояния  $d$ , определенного по плану, ближайшую кривую, на которой указана условная освещенность в люксах. Если точка не попадает на кривую, то освещенность определяется интерполированием;

- условные освещенности от различных светильников для расчетной точки суммируются:

$$\sum e = e_1 + e_2 + e_3 + \dots + e_n;$$

- находят световой поток лампы, устанавливаемой в светильнике, при заданной освещенности  $E$ :

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E \cdot k}{\mu \cdot \sum e},$$



где  $\mu$  - коэффициент, учитывающий освещенность от прочих удаленных источников, принимается равным 1,1-1,2;  $k$  - коэффициент запаса;  
 - по полученному потоку и напряжению выбирают мощность стандартной лампы, поток которой отличается от рассчитанного не более чем на +20 или -10%.

**ПРИМЕР** расчета освещения методом коэффициента использования светового потока на участке литья.

Расчет освещения на участке литья производится методом коэффициента использования светового потока. Данный метод применяется для расчета общего равномерного освещения.

В жарком помещении с малым выделением пыли, с разрядом зрительных работ VII, с размерами  $43,5 \times 24 \times 6$  м необходимо достичь освещенности  $E_n = 200$  лк. Используется светильник ЛСП22 со следующими параметрами:

- степень защиты - 5'0;
- тип кривой силы света (КСС) - Д-1;
- КПД светильника - 75%.

Расчетная высота, м:

$$h_{\text{расч}} = H - h_c - h_p,$$

где  $H$  - высота помещения, м;  $h_c$  - высота свеса светильников, м;  $h_p$  - высота рабочей поверхности, м.

$$h_{\text{расч}} = 6 - 1 - 0 = 5.$$

Расстояние между рядами и светильниками в ряду, м:

$$L = \lambda_c \cdot h_{\text{расч}},$$

где  $\lambda_c$  - наимыгоднейшее относительное расстояние,  $\lambda_c = 1,2$ .

$$L = 1,2 \cdot 5 = 6.$$

Число рядов светильников в помещении, шт.:

$$n'_b = \frac{B}{L}, \quad n'_b = \frac{24}{6} = 4.$$

Расстояние по ширине от крайнего светильника до стены, м:

$$l_b = \frac{B - (n'_b - 1) \cdot L}{2}, \quad l_b = \frac{24 - (4 - 1) \cdot 6}{2} = 3.$$

Индекс помещения, о.е.:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_{\text{расч}} \cdot (A + B)}, \quad i = \frac{43,5 \cdot 24}{5 \cdot (43,5 + 24)} = 3,09.$$

Коэффициент использования помещения  $\eta_{\text{п}}$  определяется в зависимости от индекса помещения, от сочетания коэффициентов отражения поверхностей помещения, от КСС светильника. Для  $i = 3,09$ ,  $\rho_{\text{п}} = 0,3$ ,  $\rho_{\text{ст}} = 0,1$ ,  $\rho_{\text{р}} = 0,1$  и КСС типа Д-1  $\eta_{\text{п}} = 61,3\%$ .

Коэффициент использования светового потока, о.е.:

$$\eta = \eta_{\text{п}} \cdot \eta_c, \quad \eta = 0,613 \cdot 0,75 = 0,46.$$

Потребный световой поток каждого ряда светильников, лм:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot k \cdot S \cdot z}{n \cdot \eta}$$

где  $E_n$  - нормативная минимальная освещенность, лк;  $k$  - коэффициент запаса,  $k = 1,8$ ;  $S$  - освещаемая площадь,  $\text{м}^2$ ;  $z$  - отношение  $E_{\text{ср}}/E_n$ ,  $z = 1,1$ ;  $n$  - число рядов в помещении, шт.;  $\eta$  - коэффициент использования светового потока, о.е.

$$\Phi = \frac{200 \cdot 1,8 \cdot 43,5 \cdot 24 \cdot 1,1}{4 \cdot 0,46} = 224687,0.$$

Примем лампу ЛБ-65 с  $P_{\text{ном}} = 65$  Вт,  $\Phi_c = 4325$  лм.

Число светильников в ряду, шт.:

$$N = \frac{\Phi}{2 \cdot \Phi_c}, \quad N = \frac{224687,0}{2 \cdot 4325} = 25.$$

Определение возможности размещения полученного числа светильников:

$$L_{\text{ряда}} = N \cdot l_{\text{свет}},$$



где  $l_{\text{свет}}$  - длина светильника, м.

$$L_{\text{ряда}} = 25 \cdot 1,625 = 40,63 < 43,5,$$

Расстояние между светильниками в ряду, м:

$$l_p = \frac{A - 2 \cdot l_a - L_{\text{ряда}}}{N - 1},$$

примем  $l_a = 0,5$  м.

$$l_p = \frac{43,5 - 2 \cdot 0,5 - 40,63}{25 - 1} = 0,08.$$

Стандартный световой поток ряда светильников на 3,8 % меньше расчётного, что допустимо (-10%, +20%). Окончательно принимается сто светильников ЛСП22 2×65.

**ПРИМЕР** расчета освещения точечным методом на участке литья (точечным методом выполняется расчет освещения безопасности).

Расчет освещения безопасности выполняется для участка литья. Наименьшая освещенность рабочих поверхностей составляет 5% от нормируемой для рабочего освещения, т.е.

$$E_{\text{ав}} = 0,05 \cdot E_n, \quad E_{\text{ав}} = 0,05 \cdot 150 = 7,5 \text{ лк.}$$

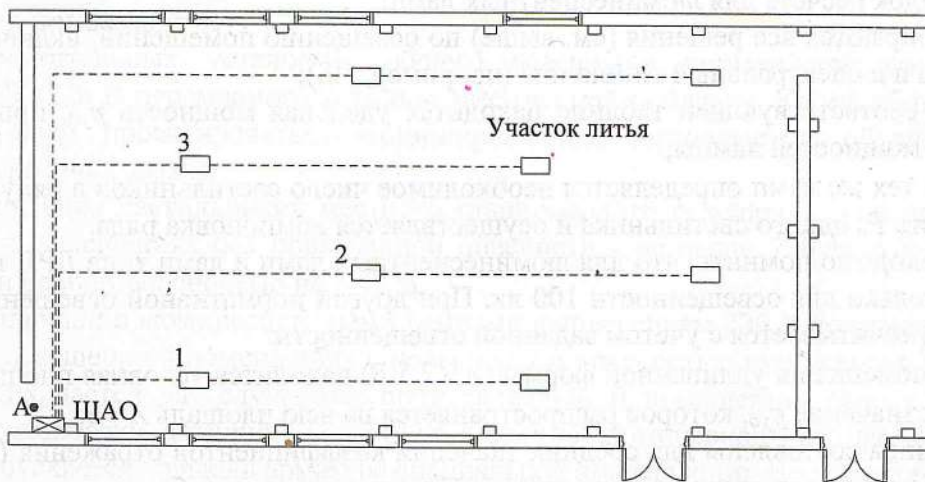


Рисунок примера. Расположение светильников аварийного освещения

На рисунке приводится расположение светильников аварийного освещения.

Расчет освещенности в контрольной точке А производится по точечному методу, суть которого сводится к вычислению суммарной освещенности, определяемой значениями сил света всех точечных излучателей, освещающих эту точку.

$$E_A = \frac{\Phi \cdot \mu \cdot \Sigma e}{1000 \cdot k},$$

где  $\Phi$  - световой поток светильника, для ЛСП22 2×80  $\Phi=9920$  лм.;  $\mu$  - коэффициент, учитывающий действие удаленных источников света и отраженную составляющую,  $\mu=1,2$ ;  $\Sigma e$  - сумма освещенностей в контрольной точке от рассматриваемых источников света, лк.;  $k$  - коэффициент запаса,  $k=1,5$ .

Для определения  $\Sigma e$  рассматриваются три ближайших к контрольной точке светильника (см. рис.). Суммарная освещенность в точке А, лк.:

$$\Sigma e = e_1 + e_2 + e_3, \quad \Sigma e = 0,357 + 0,152 + 0,654 = 1,163.$$

Освещенность в точке А определяется, лк.:

$$E_A = \frac{9920 \cdot 1,2 \cdot 1,163}{1000 \cdot 1,5} = 9,23,$$

$$E_A = 9,23 \text{ лк} > E_{\text{ав}} = 7,5 \text{ лк.}$$

Данное расположение светильников удовлетворяет требованиям, предъявляемым к аварийному освещению.



### Метод удельной мощности.

Метод применим для расчета только общего равномерного освещения при отсутствии требующих учета затенений. Метод позволяет, минуя полные светотехнические расчеты, определить мощность или число ламп по таблицам удельной мощности (Д-2 с.146-167). Таблицы составлены для многочисленных типов светильников, занимают большой объем в первоисточнике и поэтому не помещены в данном пособии.

Порядок расчета для ламп накаливания и ламп типа ДРЛ следующий:

- выбираются все решения по освещению помещения (тип светильника, освещенность, коэффициент запаса, коэффициент отражения поверхностей помещения, значения расчетной высоты, площадь помещения, число светильников  $N$ );
- по соответствующей таблице для данного типа светильника и характеристик помещения находится удельная мощность  $p_{уд}$  с учетом коэффициента запаса;
- определяется единичная мощность лампы по формуле

$$P_{л} = \frac{p_{уд} \cdot S}{N},$$

где  $S$  - площадь помещения,  $m^2$ ;  $N$  - число светильников;

- выбирается ближайшая стандартная лампа по мощности, Вт.

Порядок расчета для люминесцентных ламп:

- выбираются все решения (см. выше) по освещению помещений, включая число рядов светильников  $n$  и спектральный тип лампы (например, ЛБ);
- по соответствующей таблице находится удельная мощность  $p_{уд}$ , принимая одну из стандартных мощностей лампы;
- для тех же ламп определяется необходимое число светильников в ряду делением ( $p_{уд} \cdot S$ ) на мощность  $P_{л}$  одного светильника и осуществляется компоновка ряда.

Необходимо помнить, что для люминесцентных ламп и ламп типа ДРЛ таблицы в (Д-2) приводятся только для освещенности 100 лк. При другой нормативной освещенности удельная мощность пересчитывается с учетом заданной освещенности.

Для помещения удлиненной формы ( $A > 2,5 \cdot B$ ) находится условная площадь  $B^2$  и по ней определяется значение  $p_{уд}$ , которое распространяется на всю площадь  $A \cdot B$ .

Таблицы составлены для средних значений коэффициентов отражения (50%-30%-10%) и допускают при более светлых поверхностях уменьшать, а при более темных - увеличивать значения  $p_{уд}$  на 10%. Также требуется пересчет  $p_{уд}$  при ином коэффициенте запаса  $k$ , отличающемся от табличного.

#### Пример. Расчет осветительных нагрузок методом удельной мощности на единицу площади.

Расчет осветительных нагрузок произведен для участка галтовки. Принимаются светильники марки ПВЛМ, мощность каждого из которых  $P_{л} = 2 \times 80$  Вт.

Характеристики участка галтовки:

- нормативная освещенность  $E_n = 200$  лк;
- коэффициент запаса  $k = 1,5$ ;
- площадь помещения  $S = 36$   $m^2$ ;
- высота помещения  $h_{пом} = 6$  м;
- высота рабочей поверхности  $h_{р.п.} = 0,5$  м.

Удельная мощность освещения  $P_{уд} = 26,8$  Вт/ $m^2$ .

Установленная мощность помещения, кВт,

$$P_{уст} = P_{уд} \cdot S \cdot 10^{-3}, \quad P_{уст} = 26,8 \cdot 36 \cdot 10^{-3} = 0,96.$$

Число светильников, шт,

$$N = \frac{P_{уст}}{P_{л}}, \quad N = \frac{0,96}{2 \cdot 80 \cdot 10^{-3}} = 6.$$

Уточненное значение установленной мощности освещения, кВт,

$$P_{уст}^1 = N \cdot P_{л} \cdot 10^{-3}, \quad P_{уст}^1 = 6 \cdot 2 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 0,96.$$



Расчетная активная нагрузка освещения для участка галтовки, кВт,

$$P_p = k_{CO} \cdot k_{ПРА} \cdot P_{УСТ}^1,$$

где  $k_{CO}$  - коэффициент спроса осветительной нагрузки, равный 0,85 для производственных зданий, состоящих из отдельных помещений;  $k_{CO} = 0,6$  - для складских зданий, подстанций,  $k_{CO} = 0,95$  - для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов;  $k_{ПРА}$  - коэффициент, учитывающий потери в пускорегулирующей аппаратуре, равный для ЛЛ 1,25;

$$P_p = 0,85 \cdot 1,25 \cdot 0,96 = 1,02.$$

Расчетная реактивная нагрузка освещения для механического отделения, квар,

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  - коэффициент реактивной мощности освещения, о.е., равный 0,4,

$$Q_p = 1,02 \cdot 0,4 = 0,41.$$

Расчет осветительных нагрузок методом удельной мощности на единицу площади для остальных участков производится аналогично. Принимаются на всех участках люминесцентные лампы. Высота участков 6 м.

## 4.2 ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

### Выбор напряжения.

В осветительных установках общего освещения применяется преимущественно напряжение 380/220 В переменного тока при заземленной нейтрали. Кроме общего освещения помещений может проектироваться комбинированное, состоящее из общего и местного освещения на рабочих местах.

Для питания светильников местного стационарного освещения должны применяться напряжения: в помещениях без повышенной опасности - не выше 220 В, а в помещениях с повышенной и особой опасностью не > 42 В.

Светильники с люминесцентными лампами напряжением 220 В допускается применять для местного освещения в помещениях с повышенной опасностью при условии недоступности их токоведущих частей для случайных прикосновений. В помещениях сырых, особо сырых, жарких и с химически активной средой применение люминесцентных ламп для местного освещения допускается только в арматуре специальной конструкции. Во всех помещениях РМЦ устраивается переносное освещение напряжением не > 42 В для ремонта, наладки и осмотра оборудования в виде розеток, питаемых от трансформаторов типа ОСОВ-0,25 или ЯТП-0,25 (О-2 с.367).

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных при высоте установки светильников общего освещения с лампами накаливания, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ над полом или площадкой обслуживания менее 2,5 м необходимо применять светильники, конструкция которых исключает возможность доступа к лампе без применения инструмента (отвертки, плоскогубцев, гаечного или специального ключа и др.), с вводом в светильник подводящей электропроводки в металлических трубах, металлорукавах или защитных оболочках кабелей либо использовать для питания светильников с лампами накаливания напряжение не выше 42 В.

Требование о недоступности ламп без применения инструмента не распространяется на светильники в электропомещениях, а также на светильники, обслуживаемые с кранов или площадок квалифицированным персоналом. При этом расстояние от светильников до настила моста крана должно быть не менее 1,8 м или светильники должны быть подвешены не ниже нижнего пояса ферм перекрытия, а обслуживание их с кранов должно выполняться с соблюдением требований техники безопасности.

Светильники с люминесцентными лампами на напряжение выше 42 В могут устанавливаться на высоте до 2,5 м от пола.

Для разрядных ламп - ксеноновых, ртутных ДРЛ, металлогалогенных ДРИ, натриевых ДНаТ и люминесцентных, рассчитанных для включения совместно с ПРА на напряжение выше



220 В, допускается использовать напряжение до 380 В, в том числе фазное напряжение системы 660/380 В с заземленной нейтралью при соблюдении следующих условий:

а) ввод в светильник и ПРА должен выполняться проводами или кабелями с изоляцией на напряжение не менее 660 В;

б) одновременное отключение всех фазных проводов. Это требование распространяется также на случаи, когда в многоламповый светильник с лампами любых типов (в том числе с лампами накаливания) вводятся провода нескольких фаз системы 380/220 В, за исключением светильников, устанавливаемых в помещениях без повышенной опасности;

в) нанесение на светильники в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных хорошо различимых знаков с указанием применяемого напряжения (380В).

• Ввод в светильник и ПРА двух и трех фаз системы 660/380 В запрещается.

### Напряжение для переносных светильников.

Для ручных переносных светильников, питаемых от сети, должно применяться напряжение не выше 42 В. При наличии особо неблагоприятных условий, когда опасность поражения электрическим током усугубляется теснотой, неудобным положением работающего, соприкосновением с большими металлическими хорошо заземленными поверхностями (например, работа в котлах), для питания ручных светильников должно применяться напряжение не выше 12 В.

Переносные светильники, предназначенные для подвешивания, настольные, напольные и т. п. приравниваются при выборе напряжения к светильникам местного стационарного освещения, а светильники, устанавливаемые на переставных стойках на высоте не менее 2,5 м, — к светильникам общего освещения.

### Уровни и колебания напряжения.

Напряжение у ламп накаливания, а для разрядных ламп у их пускорегулирующих аппаратов (ПРА) должно быть не менее 95 и не выше 105 % их номинального значения.

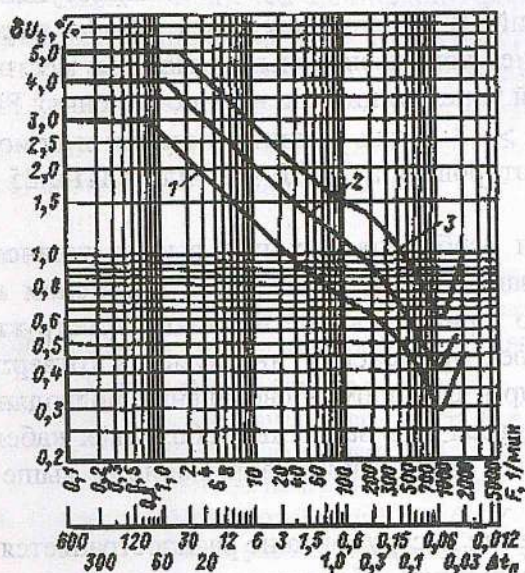


Рисунок 3. Допустимые размахи изменений напряжения у ламп  $\delta U$ , %, в зависимости от частоты  $\Delta t$  и интервала между изменениями напряжения:

1 — лампы накаливания в помещениях, где требуется значительное зрительное напряжение; 2 — лампы накаливания в остальных помещениях, в том числе в жилых зданиях; 3 — разрядные лампы всех типов

Допускается питание от силовых трансформаторов с низшим напряжением 690/400 В

Исходя из указанного минимально допустимого напряжения у ламп в таблице 4.13 приведены максимально допустимые потери напряжения в осветительной сети, зависящие от мощности и коэффициента загрузки трансформатора и коэффициента мощности нагрузки, при котором работает трансформатор.

Допустимые размахи изменений напряжения у ламп осветительных установок определяют по рисунку 3 в зависимости от их частоты или интервалов между изменениями напряжения. Это требование не распространяется на лампы местного освещения, обслуживающие какой-либо механизм, если резкие изменения напряжения связаны с работой электродвигателя этого механизма.

### Источники питания.

Питание электрического освещения, как правило, производится от общих для осветительных и силовых нагрузок трансформаторов с низшим напряжением 400/230 В (напряжение сети 380/220 В).

(на  
све  
нап  
опр  
660  
пре  
тра  
ост  
сле  
под  
инд  
нул  
тра  
%  
обм  
вып  
но  
«З  
25  
пр  
ни  
тра  
уст  
рас  
без  
эле  
уст  
ли  
сил  
вво  
к д  
Ли  
вст  
за  
тре  
ос



(напряжение сети 660/380 В) при заземленной нейтрали при условии, что применяемые светильники и лампы предназначены для питания напряжением 380 В.

Самостоятельные осветительные трансформаторы применяются:

а) если характер силовой нагрузки не позволяет обеспечивать требуемое качество напряжения у ламп, например, при питании от трансформатора мощных сварочных аппаратов;

б) при большой плотности осветительной нагрузки, если может быть экономически оправдана установка осветительных трансформаторов;

в) если для силовой нагрузки принимается напряжение более 380/220 В, например 660/380 В, и при этом в осветительных установках используются светильники, не предназначенные для питания напряжением 380 В.

Не рекомендуется использование для питания электрического освещения трансформаторов, работающих в блоке с технологическими механизмами и отключаемых при остановке этих механизмов на ремонт. При неизбежности питания от таких трансформаторов следует предусматривать возможность продолжения питания освещения при отключении подстанции путем устройства перемычки между щитами двух ближайших подстанций.

В связи с тем что разрядные лампы, включаемые в сеть с индуктивными или индуктивно-емкостными ПРА, вызывают протекание значительных токов высших гармоник в нулевых проводах трехфазных четырехпроводных линий; при выборе схем соединений обмоток трансформаторов необходимо руководствоваться следующими указаниями:

если нагрузка на трансформатор от разрядных ламп (с потерями в ПРА) превышает 25 % его номинальной мощности, должны применяться трансформаторы со схемой соединений обмоток «треугольник-звезда с нулем», при которой допустимая токовая нагрузка нулевого вывода стороны низкого напряжения составляет 75 % тока фазных выводов;

при нагрузке на трансформатор от разрядных ламп (с потерями в ПРА) менее 25 % его номинальной мощности может применяться трансформатор со схемой соединений обмоток «звезда — звезда с нулем», допустимая токовая нагрузка нулевого вывода которого составляет 25 % тока фазных выводов.

Питание светильников, требующих применения малого напряжения (до 42 В), должно производиться от трансформаторов с электрически разделенными обмотками высокого и низкого напряжения. Один вывод, средняя точка или нейтраль обмотки низшего напряжения трансформатора должны быть заземлены или занулены.

#### **Выбор схемы питания.**

Схема питания осветительной установки состоит из питающих и групповых линий.

К *питающим линиям* относятся самостоятельные участки сети от распределительных устройств подстанций, щитов, шкафов, распределительных пунктов, магистральных и распределительных шинопроводов до групповых щитков. Рабочее освещение, освещение безопасности и эвакуационное освещение допускается питать от общих линий с электросиловыми установками или от силовых распределительных пунктов, в которых устанавливаются самостоятельные аппараты защиты и управления для каждой питающей линии. При питании от силовых распределительных пунктов, непосредственно питающих силовые электроприемники, линии питающей осветительной сети должны подключаться к вводным зажимам этих пунктов. При питании от силовой сети должны выполняться требования к допустимым отклонениям и колебаниям напряжения в осветительной сети.

К *групповым линиям* относятся участки сети от групповых щитков до светильников. Линии групповой сети освещения должны быть защищены предохранителями с плавкими вставками или автоматическими выключателями.

Питающие линии выполняются четырехпроводными (три фазы и нуль), а групповые в зависимости от нагрузки и протяженности бывают двухпроводными (одна фаза и нуль), трехпроводными (две фазы и нуль) и четырехпроводными (три фазы и нуль).

С 01.01.99 года введена в действие новая редакция раздела ПУЭ «Электрическое освещение» (см. приложение П10). По этому разделу в групповых линиях для обеспечения



защитных мер безопасности дополнительно к фазным и нулевому рабочему проводникам может прокладываться нулевой защитный проводник. Защитное заземление установок электрического освещения должно выполняться также согласно требований главы 1.7 ПУЭ.

Питающие линии осветительной сети могут быть выполнены по радиальной, магистральной или смешанной схемам. Рекомендуется широко применять магистральную или радиально-магистральную (смешанную) схему питания щитков. Смешанная схема может проектироваться при общей трассе для двух и более магистральных линий, когда целесообразно в целях сокращения общей протяженности сети эти линии совместить и заменить одной радиальной линией, идущей от подстанции до так называемого магистрального щитка, от которого, в свою очередь, отходят магистральные линии с присоединенными к ним групповыми щитками. Одной магистральной линией рекомендуется питать не более четырех-пяти щитков. При питании одной линией четырех и более групповых щитков с числом групп 6 и более рекомендуется на вводе в каждый щиток устанавливать аппарат управления (О-2 с.340-342).

Для светильников аварийного освещения устанавливается отдельный щиток. При этом освещенность, создаваемая светильниками аварийного освещения, входит в общий баланс освещенности производственного помещения.

Светильники рабочего освещения и светильники аварийного освещения должны питаться от разных независимых источников. Допускается питание рабочего и аварийного освещения выполнять от разных трансформаторов одной двухтрансформаторной подстанции при питании трансформаторов от разных независимых источников.

Светильники эвакуационного освещения в производственных зданиях с естественным освещением должны быть присоединены к сети, не зависящей от сети рабочего освещения, начиная от щита подстанции (распределительного пункта освещения), или при наличии только одного ввода в здание, начиная от этого ввода.

Светильники эвакуационного освещения в производственных зданиях без естественного освещения должны быть присоединены к отдельному независимому источнику питания или автоматически на него переключаться, если в нормальном режиме питание эвакуационного освещения предусматривается от источника, используемого для рабочего освещения.

При выборе схем питания освещения зданий должны учитываться:

- а) требуемая степень надежности питания;
- б) регламентируемые уровни и постоянство напряжения у источников света;
- в) простота и удобство эксплуатации;
- г) требования к управлению освещением;
- д) экономичность установки.

Питающие сети для освещения и силового электрооборудования рекомендуется выполнять, как правило, отдельными. Совмещение питающих сетей целесообразно при использовании в качестве питающих линий в крупных производственных и общественных зданиях магистральных шинопроводов, при небольшой мощности аварийного и эвакуационного освещения и для зданий, электроснабжение которых производится от отдельно стоящих подстанций.

На рисунках с 4 по 11 приведены наиболее характерные схемы питания освещения производственных зданий. При рассмотрении этих схем необходимо иметь в виду следующие их особенности и некоторые другие условия:

- а) на схемах в качестве аппаратов защиты и местного включения линий питающей сети показаны автоматические выключатели как наиболее распространенные для этих целей аппараты. Однако вместо автоматических выключателей могут использоваться плавкие предохранители и ручные отключающие аппараты (рубильники, выключатели);
- б) когда для линий питающей сети необходимо устройство дистанционного управления, в дополнение к аппарату защиты в каждой управляемой линии устанавливают аппарат управления, например, магнитный пускатель, не показанный на приведенных схемах;
- в) для питания освещения обычно бывает нецелесообразно использовать мощные



автоматы КТП, пропускная способность которых значительно превышает нагрузку линий питающей осветительной сети. Поэтому вблизи КТП устанавливают магистральные щитки (пункты) с автоматическими выключателями на необходимые токи или при дистанционном управлении освещением щиты или ящики управления с магнитными пускателями и автоматами;

г) при питании одной линией четырех и более групповых щитков на вводе в каждый щиток рекомендуется устанавливать отключающий аппарат. Для щитков, обслуживающих помещения без естественного освещения, установка аппаратов управления на вводе обязательна при питании одной линией трех щитков и более.

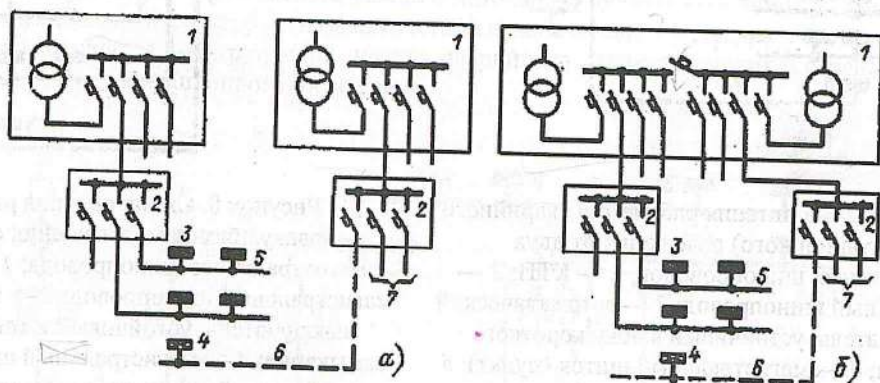


Рисунок 4. Схемы питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения от КТП: а — от двух однострансформаторных КТП; б — от одной двухтрансформаторной КТП; 1 — КТП; 2 — магистральный щиток (пункт); 3 — групповой щиток рабочего освещения; 4 — групповой щиток аварийного (эвакуационного) освещения; 5 — линия питающей сети рабочего освещения; 6 — линия питающей сети аварийного (эвакуационного) освещения; 7 — питание рабочего освещения других участков здания или силовых потребителей

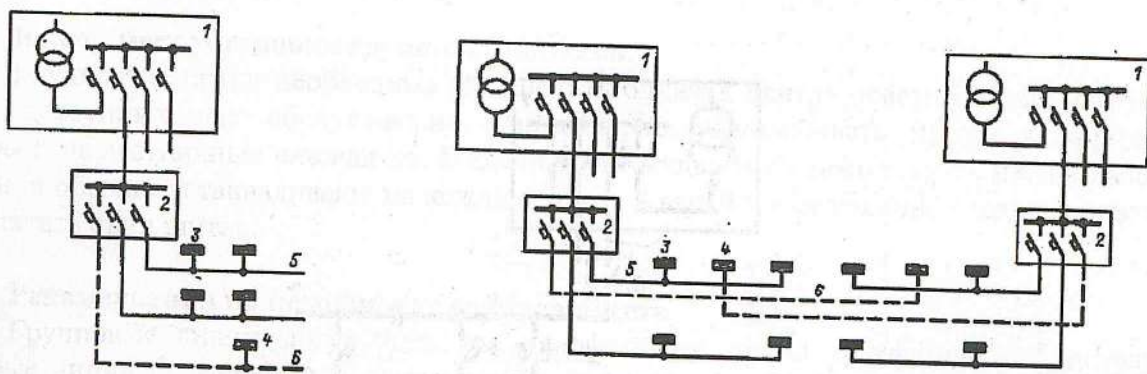


Рисунок 5. Схема питания рабочего и эвакуационного освещения от однострансформаторной КТП: 1 — КТП; 2 — магистральный щиток (пункт); 3 — групповой щиток рабочего освещения; 4 — групповой щиток эвакуационного освещения; 5 — линия питающей сети рабочего освещения; 6 — линия питающей сети эвакуационного освещения

Рисунок 6. Схема перекрестного питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения: 1 — КТП; 2 — магистральный щиток (пункт); 3 — групповой щиток рабочего освещения; 4 — групповой щиток аварийного (эвакуационного) освещения; 5 — линия питающей сети рабочего освещения; 6 — линия питающей сети аварийного (эвакуационного) освещения



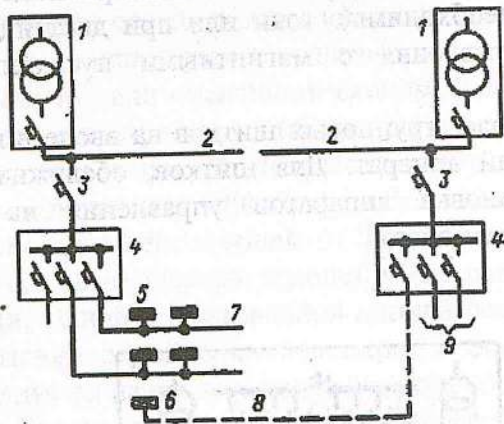


Рисунок 7. Схема питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения от двух магистральных шинопроводов; 1 — КТП; 2 — магистральный шинопровод; 3 — автоматический выключатель, устойчивый к току короткого замыкания; 4 — магистральный щиток (пункт); 5 — групповой щиток рабочего освещения; 6 — групповой щиток аварийного (эвакуационного) освещения; 7 — линия питающей сети рабочего освещения; 8 — линия питающей сети аварийного (эвакуационного) освещения; 9 — питание рабочего освещения других участков здания или силовых потребителей

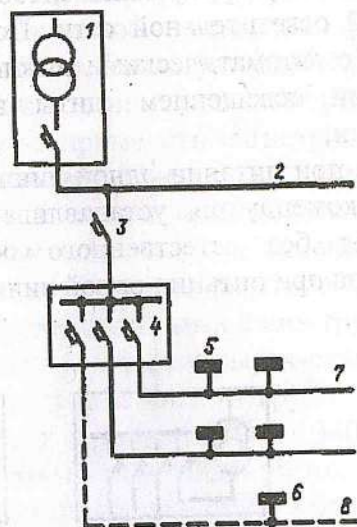


Рисунок 8. Схема питания рабочего и эвакуационного освещения от одного магистрального шинопровода: 1 — КТП; 2 — магистральный шинопровод; 3 — автоматический выключатель, устойчивый к току короткого замыкания; 4 — магистральный щиток (пункт); 5 — групповой щиток рабочего освещения; 6 — групповой щиток эвакуационного освещения; 7 — линия питающей сети рабочего освещения; 8 — линия питающей сети эвакуационного освещения

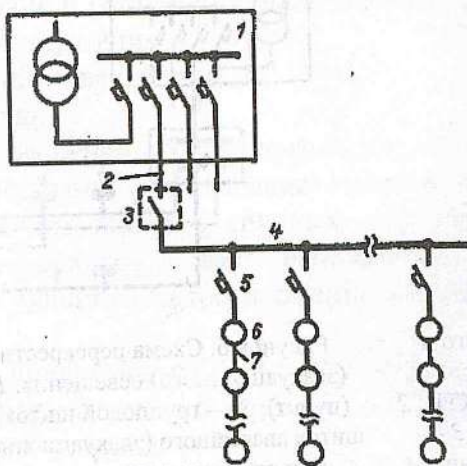


Рисунок 9. Схема питания рабочего освещения от распределительного шинопровода: 1 — КТП; 2 — линия питающей сети рабочего освещения; 3 — выключатель или аппарат дистанционного управления; 4 — распределительный шинопровод; 5 — автоматический выключатель на шинопроводе; 6 — светильник общего рабочего освещения; 7 — групповая линия рабочего освещения



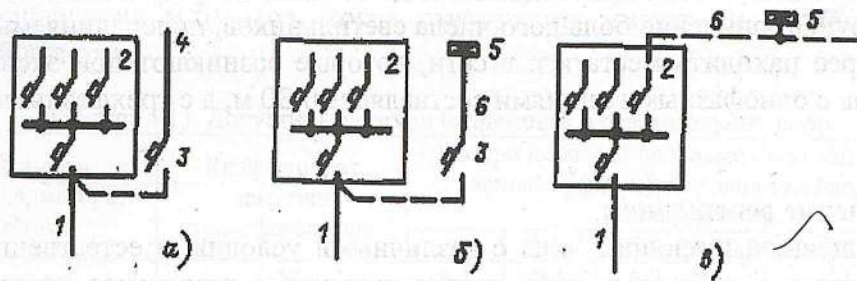


Рисунок 10. Схемы питания аварийного и эвакуационного освещения от силовой сети: *а* и *б* — ответвлениями от силовой сети; *в* — от силового распределительного пункта; 1 — линия силовой питающей сети; 2 — силовой распределительный пункт; 3 — автоматический выключатель; 4 — линия к светильникам аварийного (эвакуационного) освещения; 5 — групповой щиток аварийного (эвакуационного) освещения; 6 — линия питающей сети аварийного (эвакуационного) освещения

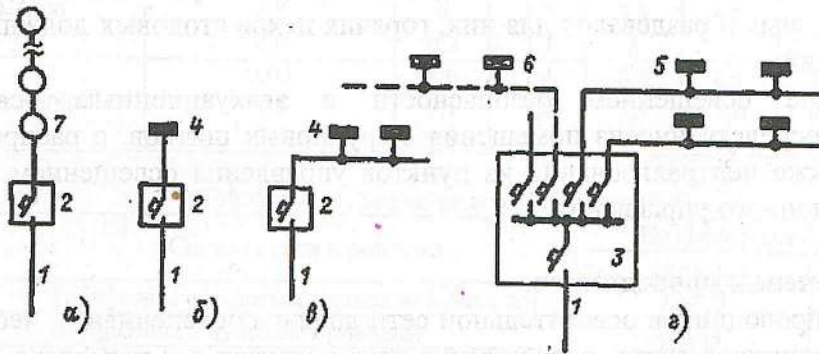


Рисунок 11. Схемы питания освещения от вводов в здания: *а* — питание светильников непосредственно от вводного устройства; *б* — питание от вводного устройства одного щитка; *в* — то же нескольких щитков рабочего или аварийного освещения; *г* — питание от вводно-распределительного устройства щитков рабочего и эвакуационного освещения; 1 — ввод в здание кабельной или воздушной линии; 2 — вводное устройство; 3 — вводно-распределительное устройство; 4 — групповой щиток рабочего или аварийного освещения; 5 — групповой щиток рабочего освещения; 6 — групповой щиток эвакуационного освещения; 7 — светильник рабочего или аварийного освещения

### Выбор мест установки групповых щитков.

Групповые щитки необходимо располагать ближе к центру осветительных нагрузок и местах, доступных для обслуживания. Рационально устанавливать щитки в коридорах, проходах и на лестничных площадках. В зданиях, имеющих несколько этажей, щитки рабочего освещения обычно устанавливают на каждом этаже. Аварийное освещение нескольких этажей может питать один щиток.

### Рекомендации по компоновке групповой сети.

Групповые линии могут быть как однофазными, так и трехфазными. Однофазные групповые линии целесообразно прокладывать для помещений небольшой площади, а также для средних и крупных помещений, освещаемых не слишком часто установленными светильниками с ДРЛ и л.н. небольшой мощности до 150-200 Вт и люминесцентными светильниками. Трехфазные групповые линии экономичны в больших помещениях, освещаемых мощными светильниками с л.н. 500-1000 Вт или лампами ДРЛ. Двухфазные трехпроводные линии на практике применяют сравнительно редко.

Количество и мощность светильников, присоединяемых к одной линии, ограничивается ПУЭ. Каждая групповая линия может содержать на фазу не более 20 ламп накаливания, ДРЛ, ДРИ, ДРИЗ, ДНаТ, в это число входят также штепсельные розетки. В производственных помещениях на однофазные группы освещения лестниц, этажных коридоров, холлов и чердаков допускается присоединять до 60 ламп накаливания каждая до 60 Вт. Для групповых линий, питающих световые потолки с лампами накаливания, а также светильники с л.л. мощностью до 80 Вт, рекомендуется присоединять до 60 ламп на фазу; для линий, питающих л.л. мощностью



до 40 Вт включительно, может присоединяться до 75 ламп на фазу и мощностью до 20 Вт - до 100 ламп на фазу. Ограничение большого числа светильников, присоединяемых к одной линии, позволяет быстрее находить места к.з. в сети, которые возникают при эксплуатации. Радиус действия щитков с однофазными линиями составляет 20-30 м, а с трехфазными линиями - 60-80 м.

#### Управление освещением.

В помещениях, имеющих зоны с различными условиями естественного освещения и различными режимами работы, должно предусматриваться раздельное управление освещения зон. В помещениях с четырьмя и более светильниками рабочего освещения, не имеющих освещения безопасности и эвакуационного освещения, светильники рекомендуется распределять не менее, чем на две самостоятельно управляемые группы. Выключатели светильников, устанавливаемых в помещениях с неблагоприятными условиями среды, рекомендуется выносить в смежные помещения с лучшими условиями среды. Выключатели светильников душевых и раздевалок для них, горячих цехов столовых должны устанавливаться вне этих помещений.

Управление освещением безопасности и эвакуационным освещением можно производить: непосредственно из помещения с групповых щитков, с распределителей, с РУ подстанций, а также централизованно из пунктов управления освещением с использованием системы дистанционного управления.

#### Расчет сечений проводников.

Сечения проводников осветительной сети должны обеспечивать: необходимые уровни напряжения у источников света, прохождение тока нагрузки без перегрева сверх допустимых температур, достаточную механическую прочность.

Для осветительных сетей, как правило, применяют провода и кабели с алюминиевыми жилами, за исключением проводки во взрывоопасных помещениях классов В-1 и В-1а (ПУЭ).

В отличие от силовой сети сечения проводников осветительной сети в основном определяются по допустимой потере напряжения  $\delta U_{\text{доп}}$  по формуле:

$$F = \frac{M}{C \cdot \delta U_{\text{доп}}},$$

где  $M = \dot{P} \cdot L$  - момент нагрузки данного участка сети, кВт·м;  $\delta U_{\text{доп}}$  - допустимая потеря напряжения (%), определяемая согласно (Д-2 с.344) или табл. 4.13;  $C$  - коэффициент, значение которого приводится в (Д-2 с.348) или в табл. 4.14.

Указанные в табл. 4.13 допустимые потери напряжения в осветительной сети не следует путать с предельно допустимыми значениями отклонения на зажимах лампы, которые приняты для освещения от -5 до +5% от номинального значения.

Например, для осветительных сетей минимальное допустимое напряжение у наиболее удаленной лампы составляет 95% от номинального. Пусть, например, потеря напряжения в питающем трансформаторе оказалась равной 4%. Тогда допустимая (располагаемая) потеря напряжения  $\delta U$  в сети составит:

$$\delta U = U_x - \Delta U_m - 95 = 105 - 4 - 95 = 6\%.$$

где  $U_x$  - напряжение холостого хода на зажимах н.н. трансформатора, %

В табл. 4.13 приведены допустимые потери напряжения в осветительной сети для наиболее распространенных мощностей трансформаторов.

В тех случаях, когда необходимо рассчитать разветвленную осветительную сеть на минимум расхода проводникового материала, пользуются формулой:

$$F = \frac{\sum M + \alpha \cdot \sum m}{C \cdot \delta U_{\text{доп}}};$$

где  $\sum M$  - сумма моментов (кВт·м) рассчитываемого и всех последующих по направлению потока энергии участков с тем же числом проводов в линии, что и рассчитываемый участок;  $\sum m$



- сумма моментов (кВт·м) всех ответвлений, питаемых через рассчитываемый участок;  $\alpha$  - коэффициент приведения моментов, когда ответвления имеют иное число проводов, чем рассчитываемый участок.

Таблица 4.13. Допустимые потери напряжения в осветительных сетях

Мощность трансформатора, кВ·А	Коэффициент загрузки трансформатора	Потери напряжения в осветительной сети, %, при коэффициенте мощности нагрузки трансформатора					
		1	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6
160-250	0,95	8,4	7,4	6,7	6,5	6,1	5,9
	0,8	8,6	7,8	7,3	7	6,7	6,6
	0,6	9	8,4	7,9	7,7	7,5	7,4
400	0,95	8,7	7,5	6,8	6,5	6	5,8
	0,8	8,9	7,9	7,5	7,1	6,8	6,6
	0,6	9,1	8,4	8,2	7,8	7,6	7,5
630-1000	0,95	8,7	7,4	6,7	6	5,5	5,1
	0,8	9	7,7	7,3	6,7	6,3	6
	0,6	9,2	8,3	8	7,5	7,2	7
1600-2500	0,95	8,9	7,4	6,9	6,1	5,6	5,2
	0,8	9,1	7,8	7,4	6,8	6,3	6,1
	0,6	9,3	8,4	8	7,6	7,2	7

Таблица 4.14. Значения коэффициента  $C$ 

Напряжение сети, В	Система сети и род тока	Коэффициент $C$ для проводов	
		медных	алюминиевых
380/220	Трехфазная с нулевым проводом и без него	72-77	44-46
380/220	Двухфазная с нулевым проводом	32-34	19,5-20
220	Однофазная двухпроводная переменного или постоянного тока	12-12,8	7,4-7,7

Таблица 4.15. Значения коэффициента  $\alpha$ 

Система сети	Ответвление	Коэффициент $\alpha$
Трехфазная с нулевым проводом	Однофазное	1,85
Трехфазная с нулевым проводом	Двухфазное с нулевым проводом	1,37-1,39
Двухфазная с нулевым проводом	Однофазное	1,33
Трехфазная без нулевого провода	Двухфазное	1,15

При выполнении расчета осветительной сети по табл. 4.13 прежде всего определяют, какая потеря напряжения в осветительной сети может быть допущена. Так как осветительная сеть от подстанции до светильников состоит обычно из двух отдельных участков - питающей и групповой, необходимо решить, какая часть общей допустимой потери напряжения должна быть отнесена к питающей сети и какая - к групповой сети. Можно принять  $\delta U$  для групповой сети 1,5-2%, а остальную часть потерь отнести к питающей сети.

Наименьшие допустимые сечения проводников по механической прочности указаны в приложении П6, табл. П6.9 и в (Д-2 с.336). Для жил, выполненных из алюминия, - наименьшее сечение проводников по механической прочности 2,5 мм<sup>2</sup>.

При выборе сечений нулевых рабочих проводов осветительной сети необходимо учитывать неравномерность нагрузки по фазам питающей сети.

В трехфазных сетях с газоразрядными лампами даже при равномерной нагрузке фаз всегда в нулевом проводе протекает уравнивающий ток; его появление связано с несинусоидальностью кривой тока и высшими гармониками, возникающими из-за нелинейности вольт-амперной характеристики люминесцентных ламп.

Согласно введенной с 1 января 1999 года новой редакции раздела 6 ПУЭ "Электрическое освещение" в п.6.1.31. и п.6.1.32. рекомендуется, что сечение нулевых рабочих проводников трехфазных питающих и групповых линий с лампами люминесцентными, ДРЛ,



ДРИ, ДРИЗ и ДНаТ при одновременном отключении всех фазных проводов линии, т.е. при защите трехполюсными автоматическими выключателями, должно выбираться:

1) для участков сети, по которым протекает ток от ламп с компенсированными ПРА, равным фазному независимо от сечения;

2) для участков сети, по которым протекает ток от ламп с некомпенсированными ПРА, равным фазному при сечении фазных проводников  $16 \text{ мм}^2$  и менее для медных и  $25 \text{ мм}^2$  и менее для алюминиевых проводов и не более 50% сечения фазных проводников при больших сечениях, но не менее  $16 \text{ мм}^2$  для медных и  $25 \text{ мм}^2$  для алюминиевых проводов.

При защите трехфазных осветительных, питающих и групповых линий предохранителями или однополюсными автоматическими выключателями при любых источниках света сечение нулевых рабочих проводников следует принимать равным сечению фазных проводников.

Установка в нулевых рабочих проводах и в нулевых защитных проводниках в сетях с заземленной нейтралью предохранителей, автоматических и неавтоматических однополюсных выключателей запрещается.

#### ПРИМЕР выбора сечения проводников осветительной сети.

Схема питания осветительной установки состоит из питающих и групповых линий. Питающие линии выполняются трехфазными, а групповые в зависимости от нагрузки и протяженности бывают как однофазными, так и трехфазными. Принимаются однофазные групповые линии. ГЩО1 и ГЩО2, ГЩО3 и ГЩО4 соединяются магистрально.

Сечение проводников осветительной сети определяется по допустимой потере напряжения.

Сечение проводника,  $\text{мм}^2$ ,

$$F = \frac{\Sigma M + \alpha \cdot \Sigma m}{C \cdot \delta U_{\text{дон}}}$$

где  $\Sigma M$  – сумма моментов рассчитываемого и всех последующих по направлению потока энергии участков с тем же числом проводов в линии, что и рассчитываемый участок, кВт·м,  $\Sigma m$  – сумма моментов всех ответвлений, питаемых через рассчитываемый участок, кВт·м;  $\alpha$  – коэффициент приведения моментов, когда ответвления имеют иное число проводов, чем рассчитываемый участок, о.е.,  $\alpha = 1,85$  при системе сети трехфазной с нулевым проводом и однофазном ответвлении;  $C$  – коэффициент, зависящий от системы сети, рода тока, материала проводника, о.е.,  $C = 44$  для алюминиевых проводов при трехфазной системе сети с нулевым проводом,  $C = 7,4$  для алюминиевых проводов при однофазной двухпроводной системе сети;  $\delta U_{\text{дон}}$  – допустимая потеря напряжения осветительной сети, %, равная 7,7 при  $\cos \varphi_{\text{осв}} = 0,92$ ,  $S_{\text{тр}} = 630 \text{ кВА}$  и  $K_3 = 0,76$ .

Момент нагрузки  $i$ -того участка сети, кВт·м,

$$M_i = P_i \cdot L_i,$$

где  $P_i$  – мощность  $i$ -го участка сети, кВт;  $L_i$  – длина  $i$ -го участка сети, м.

Схема осветительной сети представлена на рисунке.

Для питающей и групповой сети выбирается кабель марки АВВГ, проложенный по стенам, для бытовых помещений ВВГ. Пример расчёта приводится для линии КТП – МЩО.

$$m_{13-14} = 1,14 \cdot 12 = 13,68,$$

$$m_{13-15} = 1,14 \cdot (12+9) = 23,94,$$

$$m_{13-16} = 1,14 \cdot 2 \cdot 13 = 29,64,$$

$$m_{16-17} = 1,14 \cdot 12 = 13,68,$$

$$m_{16-18} = 1,14 \cdot (12+9) = 23,94,$$

$$m_{5-29} = 1,33 \cdot 7 \cdot 2 = 18,62,$$

$$m_{29-30} = 1,33 \cdot 14 = 18,62,$$

$$m_{29-31} = 1,33 \cdot (14+9) = 30,59,$$

$$m_{5-32} = 1,33 \cdot 10 \cdot 2 = 26,6,$$

$$m_{32-33} = 1,33 \cdot 14 = 18,62,$$

$$m_{32-34} = 1,33 \cdot (14+9) = 30,59,$$

$$m_{35-37} = 1,33 \cdot (14+9) = 30,59,$$

$$m_{5-41} = 1,52 \cdot (10+34/2) = 41,04,$$

$$m_{5-42} = 1,52 \cdot (7+34/2) = 36,48,$$

$$m_{5-38} = 0,57 \cdot 2 \cdot 7 = 7,98,$$

$$m_{38-39} = 0,57 \cdot 5,5 = 3,14,$$

$$m_{38-40} = 0,57 \cdot (5,5+2) = 4,28,$$

$$m_{4-19} = 2,11 \cdot 24 = 50,64,$$

$$m_{4-20} = 2,89 \cdot 30 = 86,7,$$

$$m_{4-21} = 0,6 \cdot 24 = 14,4,$$

$$m_{4-22} = (0,95+0,57) \cdot 7 = 10,64,$$

$$m_{22-23} = 0,95 \cdot 18/2 = 8,55,$$

$$m_{22-24} = 0,57 \cdot (16+10/2) = 11,97,$$

$$m_{4-25} = 0,95 \cdot (10+18/2) = 18,05,$$

$$m_{4-26} = 0,57 \cdot 2 \cdot 12 = 13,68,$$

$$m_{26-27} = 0,57 \cdot (8+10/2) = 7,41,$$

$$m_{26-28} = 0,57 \cdot (5+10/2) = 5,7,$$

$$m_{6-43} = 1,23 \cdot 14 = 17,22,$$

$$m_{6-44} = (1,9+0,42) \cdot 22 = 51,04,$$

$$m_{44-45} = 1,9 \cdot 7 = 13,3,$$

$$m_{44-46} = 0,42 \cdot 9 = 3,78,$$

$$m_{6-47} = 1,85 \cdot 23 = 42,55,$$

$$m_{6-48} = (0,42+1,44+1,6) \cdot 10 = 34,6,$$



$$m_{48-49} = 0,42 \cdot 16 = 6,72,$$

$$m_{48-50} = 1,44 \cdot 4 = 5,76,$$

$$m_{48-51} = 1,6 \cdot 8 = 12,8.$$

Сумма моментов, кВт·м,

$$\Sigma M = 2161,83,$$

$$\Sigma m = 965,12.$$

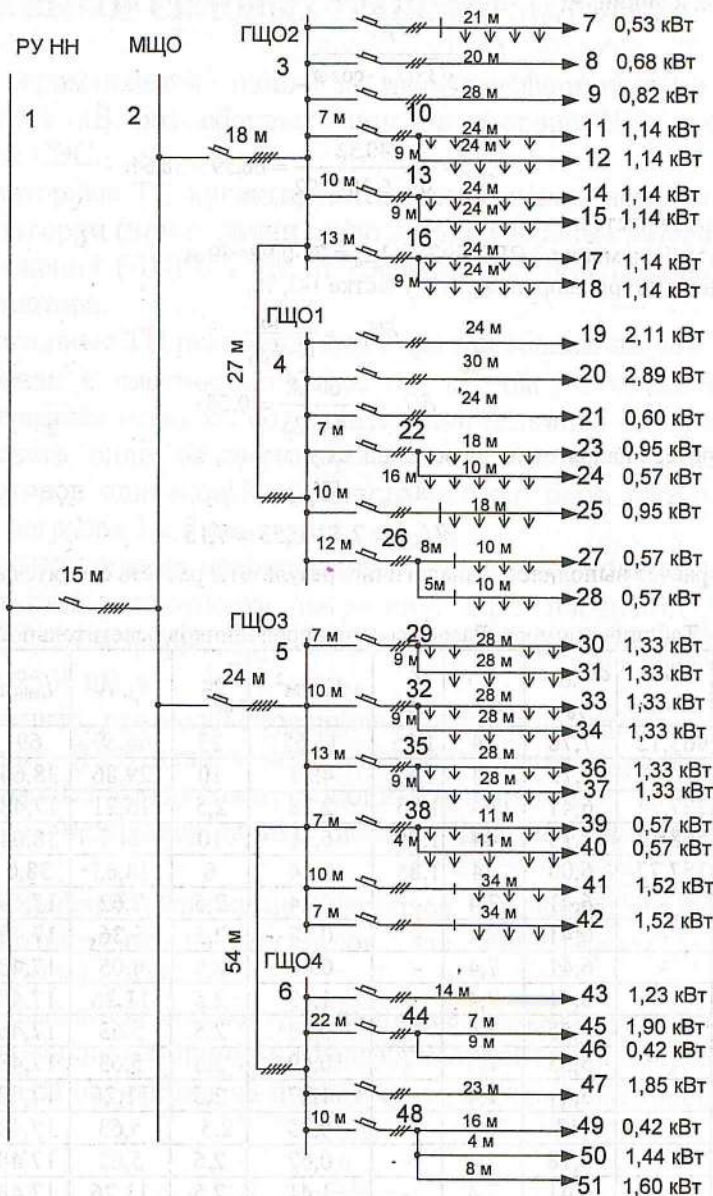


Рисунок примера. Расчетная схема осветительной сети.

Сечение проводника, мм<sup>2</sup>,

$$F_{1-2} = \frac{2161,83 + 1,85 \cdot 965,12}{44 \cdot 7,7} = 11,65.$$

Полученное значение округляется до ближайшего стандартного  $F_{1-2} = 10 \text{ мм}^2$ . Выбирается кабель АВВГ 5×10.

Условие проверки данного кабеля по допустимому длительному току, А,

$$I_p \leq K_{II} \cdot I_{дон},$$

где  $I_p$  – расчетный ток линии;  $I_{дон}$  – допустимый длительный ток на кабели данного сечения (приложение П6), А,

$$I_{дон} = I_{дон}^{табл} \cdot 0,92,$$

где  $I_{дон}^{табл}$  – допустимый табличный ток для трехжильных кабелей, А; 0,92 – коэффициент, учитывающий ток для кабелей с числом жил более трех, о.е.;  $K_{II}$  – поправочный коэффициент на условия прокладки, о.е.;

$$K_{II} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3,$$



где  $K_1$  - поправочный коэффициент, зависящий от температуры окружающей среды  $K_1=1$  (приложение П6), о.е.;  
 $K_2$  - поправочный коэффициент на число работающих кабелей (приложение П6), о.е.;  $K_3$  - поправочный коэффициент на способ прокладки, равный 1 (приложение П6), о.е.;

$$I_{\text{доп}} = 42 \cdot 0,92 = 38,64.$$

Расчетный ток в линии, А,

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi},$$

$$I_{p1-2} = \frac{40,32}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,92} = 66,59 > 38,64.$$

Условие не выполняется.

Принимается кабель марки АВВГ 5×25 с  $I_{\text{доп}} = 75 \cdot 0,92 = 69$  А.

Действительная потеря напряжения на участке 1-2, %,

$$\delta U_{1-2} = \frac{M_{1-2}}{C \cdot F_{1-2}},$$

$$\delta U_{1-2} = \frac{604,8}{44 \cdot 25} = 0,55.$$

Допустимая потеря напряжения на оставшихся участках, %,

$$\delta U'_{\text{доп}} = \delta U_{\text{доп}} - \delta U_{1-2},$$

$$\delta U'_{\text{доп}} = 7,7 - 0,55 = 7,15.$$

Дальнейший расчёт выполняется аналогично, результаты расчёта сводятся в таблицу.

Таблица примера. Расчёт сечения проводников осветительной сети.

Линия	$\Sigma M$ , кВт·м	$\Sigma m$ , кВт·м	$\delta U'_{\text{доп}}$ , %	$C$ , о.е.	$\alpha$ , о.е.	$F$ , мм <sup>2</sup>	$F_{\text{см}}$ , мм <sup>2</sup>	$I_p$ , А	$I_{\text{доп}}$ , А	$\delta U$ , %	Марка кабеля
1 - 2	2161,83	965,12	7,70	44	1,85	11,65	25	66,59	69	0,55	АВВГ 5х25
2 - 3	574,11	457,0	7,15	44	1,85	4,51	10	29,86	38,64	0,74	АВВГ 5х10
3 - 4	248,67	227,74	6,41	44	1,85	2,38	2,5	15,21	17,48	2,2	АВВГ 5х2,5
2 - 5	982,92	508,12	7,15	44	1,85	6,11	10	34,7	38,64	1,15	АВВГ 5х10
5 - 6	478,44	187,77	6,00	44	1,85	3,14	6	14,63	38,0	1,8	АВВГ 5х6
3 - 7	11,4	-	6,41	7,4	-	0,24	2,5	2,62	17,48	0,62	АВВГ 3х2,5
3 - 8	13,6	-	6,41	7,4	-	0,29	2,5	3,36	17,48	0,74	АВВГ 3х2,5
3 - 9	23,0	-	6,41	7,4	-	0,48	2,5	4,05	17,48	1,24	АВВГ 3х2,5
3 - 10	53,58	-	6,41	7,4	-	1,13	2,5	11,26	17,48	0,86	АВВГ 3х2,5
10 - 11	13,68	-	5,55	7,4	-	0,33	2,5	5,63	17,48	0,74	АВВГ 3х2,5
10 - 12	23,94	-	5,55	7,4	-	0,49	2,5	5,63	17,48	1,29	АВВГ 3х2,5
3 - 13	60,42	-	6,41	7,4	-	1,27	2,5	11,26	17,48	1,23	АВВГ 3х2,5
13 - 14	13,6	-	5,18	7,4	-	0,35	2,5	5,63	17,48	0,07	АВВГ 3х2,5
13 - 15	23,94	-	5,18	7,4	-	0,62	2,5	5,63	17,48	1,29	АВВГ 3х2,5
3 - 16	67,26	-	6,41	7,4	-	1,41	2,5	11,26	17,48	1,6	АВВГ 3х2,5
16 - 17	13,68	-	4,83	7,4	-	0,38	2,5	5,63	17,48	0,74	АВВГ 3х2,5
16 - 18	23,94	-	4,83	7,4	-	0,67	2,5	5,63	17,48	1,29	АВВГ 3х2,5
4 - 19	50,64	-	4,21	12	-	1,0	1,5	10,4	19	2,81	ВВГ 3х1,5
4 - 21	14,4	-	4,21	7,4	-	0,46	2,5	1,78	17,48	0,78	АВВГ 3х2,5
4 - 22	31,16	-	4,21	7,4	-	1,0	2,5	7,51	17,48	1,68	АВВГ 3х2,5
4 - 25	18,05	-	4,21	7,4	-	0,58	2,5	4,7	17,48	0,98	АВВГ 3х2,5
4 - 26	26,79	-	4,21	7,4	-	0,86	2,5	5,63	17,48	1,45	АВВГ 3х2,5
5 - 29	67,83	-	6,00	7,4	-	1,5	2,5	13,14	17,48	1,00	АВВГ 3х2,5
5 - 32	75,81	-	6,00	7,4	-	1,71	2,5	13,14	17,48	1,44	АВВГ 3х2,5
5 - 35	83,79	-	6,00	7,4	-	1,89	2,5	13,14	17,48	1,87	АВВГ 3х2,5
5 - 38	15,40	-	6,00	7,4	-	0,34	2,5	5,63	17,48	0,43	АВВГ 3х2,5
5 - 41	41,04	-	6,00	7,4	-	0,92	2,5	7,51	17,48	2,22	АВВГ 3х2,5
5 - 42	36,48	-	6,00	7,4	-	0,82	2,5	7,51	17,48	1,97	АВВГ 3х2,5
6 - 43	17,22	-	4,20	7,4	-	0,55	2,5	6,08	17,48	0,93	АВВГ 3х2,5
6 - 44	68,12	-	4,20	7,4	-	2,18	2,5	11,46	17,48	2,76	АВВГ 3х2,5
6 - 47	42,55	-	4,20	7,4	-	1,17	2,5	9,14	17,48	2,30	АВВГ 3х2,5
6 - 48	59,88	-	4,20	7,4	-	1,93	2,5	17,09	17,48	3,20	АВВГ 3х2,5



Прокладка трасс проводников освещения выполняется на лотках и по строительным конструкциям на высоте 3 м от пола. Для рабочего освещения принимаются к установке шкафы освещения типа ПР8501 с зажимами на вводе. Шкафы располагаются на стенах на высоте 1,5 м от пола.

## 5. ВЫБОР СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Как правило, применяются одно- и двухтрансформаторные подстанции (ТП) напряжением 6-10/0,23-0,4 кВ без сборных шин на стороне ВН, что дает простейшие конструктивные решения СЭС.

Однотрансформаторные ТП проектируются для электроприемников (ЭП) 2 категории надежности и даже 1 категории (при наличии их до 20%) с условием резервированного питания по сетям низкого напряжения (НН) 0,4 кВ от соседних ТП при помощи перемычек на 25-30% мощности трансформатора.

Двухтрансформаторные ТП рекомендуются при преобладании ЭП 1 и 2 категории, при сосредоточенных нагрузках с плотностью более  $0,4 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2$ , а также при неравномерном суточном или годовом графике нагрузок со значительной разницей смен, когда целесообразно отключать или подключать один из трансформаторов с целью экономичной работы ТП. Каждый из трансформаторов одинаковой мощности должен быть рассчитан на покрытие в аварийном режиме всех нагрузок 1 и 2 категории.

Для предварительной оценки необходимой номинальной мощности  $S_n$  трансформатора ТП используется показатель «плотности нагрузки». При плотности менее  $0,2 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2$  рекомендуются мощности трансформаторов до 1000 кВ·А; при  $0,2-0,3 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2$  - 1600 кВ·А, более  $0,3 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2$  - 1600-2500 кВ·А.

Необходимо помнить, что необоснованное завышение  $S_n$  приводит к росту стоимости сетей низшего напряжения (НН) цеха и потерь в них, а также к увеличению токов к.з. на стороне НН ТП, что усложняет выбор коммутационных аппаратов.

В зависимости от исходных данных имеется два метода выбора числа мощности трансформаторов:

1) по заданному графику нагрузки цеха (корпуса, отделения) за характерные сутки года с учетом допустимых нагрузок и перегрузок для трансформатора в нормальном и послеаварийном режимах (О-3 с.209);

2) по среднемаксимальной мощности за наиболее загруженную смену  $S_{см}$ .

Во втором случае число и мощность трансформаторов можно определить по  $S_{см}$  из того предложения, что в сети НН осуществлена полная компенсация реактивной мощности до  $\cos \varphi = 1$ , и тогда  $S_{см} = P_{см}$ :

$$S_n \geq \frac{P_{см}}{N \cdot K_3},$$

где  $N$  - целое число трансформаторов;  $K_3$  - коэффициент загрузки трансформатора, который принимается в зависимости от категории ЭП:

0,65-0,7 - при преобладании нагрузки 1 категории для двухтрансформаторных ТП;

0,7-0,8 - при преобладании нагрузок 2 категории для однотрансформаторных ТП в случае взаимного резервирования трансформаторов на НН;

0,9-0,95 - при преобладании нагрузок 2 категории и наличии централизованного (складского) резерва трансформаторов, а также при нагрузках 3 категории.

В первых двух случаях значения коэффициентов загрузки трансформаторов определены из условия взаимного резервирования трансформаторов в послеаварийном режиме с учетом допустимой перегрузки оставшегося в работе трансформатора в 1,4 раза на время максимума нагрузки с общей продолжительностью по 6 ч в каждые из пяти суток. При этом коэффициент начальной загрузки не должен превышать 0,93 (О-1 с.83). Потребители 3 категории на период аварии могут быть отключены.

Т.о. проверка двухтрансформаторных ТП осуществляется по выражению



где  $K_{пер} \cdot S_n \geq P_p$ ,  
 где  $K_{пер}$  — коэффициент допустимой перегрузки трансформатора, принимаемый для трансформатора с масляным охлаждением 1,4, для комплектных ТП — 1,3.

После выбора мощности трансформатора необходимо определить действительный коэффициент загрузки через отношение  $P_p/S_n$ , используемый в последующем для расчета потерь мощности в трансформаторе.

Месторасположение ТП в цехе влияет на построение рациональной схемы распределения электроэнергии. По расположению различают внутрицеховые, встроенные, пристроенные и отдельностоящие ТП.

Внутрицеховые ТП наиболее приближены к ЭП и дают максимальную экономию цветного металла и снижение потерь электроэнергии. Они применяются в многопролетных цехах большой ширины, располагаясь у колонн вне зоны действия мостовых кранов, не мешая размещению технологического оборудования (ПУЭ с.398).

Встроенные в цех или пристроенные к цеху закрытые ТП или подстанции с открытой установкой трансформаторов возле наружной стены цеха применяют в цехах небольшой ширины (одно-, двух-, а иногда трехпролетных) или же при питании части нагрузок, расположенных за пределами цеха. При открытой установке трансформатора снаружи здания цеха распределительное устройство низкого напряжения ТП размещается внутри цеха и присоединяется с ним закрытым токопроводом, проходящим сквозь стену.

Для ТП с наружной установкой применяются масляные трансформаторы марки ТМ. Для внутренней установки применяют масляные (открытого типа ТМ или закрытого типа ТМЗ), совтоловые (ТНЗ — заполненные негорючим диэлектриком), сухие (ТС, ТСЗ).

Масляные трансформаторы внутри помещений устанавливают в отдельных камерах с проходами для осмотра (ПУЭ с.396).

Сухие трансформаторы рекомендованы на испытательных станциях, в лабораториях, в машинных залах, при установке ниже уровня 1-го этажа более чем 1 м или выше 2-го этажа. Они создают повышенный уровень шумов. Новые конструкции трансформаторов с литой изоляцией снижают шумы и могут быть рекомендованы для цеховой КТП (О-3 с.221).

При проектировании целесообразно отдавать предпочтение комплектным трансформаторным подстанциям КТП (приложение П4; О-1 с.188; О-3 с.101, 258; Д-1 с.203). КТП состоит из трех узлов: шкафа ввода ВН, силового трансформатора, РУ НН. Шкаф ввода ВН предназначен для присоединения трансформатора к линии через выключатель нагрузки или через разъединитель с предохранителем. Возможно глухое присоединение кабеля через ящик ввода на трансформаторе. Трансформатор КТП может быть один из марок ТМЗ, ТНЗ или ТС. РУ НН состоит из набора металлических шкафов, в которых устанавливают предохранители типа ПН-2 для отходящих линий или чаще автоматические воздушные выключатели типа ВА.

При установке КТП в отдельном помещении размеры площади помещения определяются размерами подстанции (ПУЭ с.401). Схемы питания цеховых ТП на напряжении 6-10 кВ должны быть максимально простыми. Так, при радиальном питании кабельными линиями применяют глухое присоединение трансформатора. Питающая линия к трансформатору с ЭП 2 категории должна состоять из двух кабелей. При магистральном питании присоединяют трансформаторы к линиям через предохранители в комплекте с выключателем нагрузки или разъединителем без сборных шин на стороне ВН.

Электрическое соединение обмоток цеховых трансформаторов выполняется по схеме звезда-звезда с глухим заземлением нейтрали, группа 0 или треугольник-звезда с глухим заземлением нейтрали, группа 11, что обеспечивает выполнение четырехпроводной сети НН напряжением 0,38/0,22 кВ для совмещенного питания силовой и осветительной нагрузки (сила и света) от общих силовых трансформаторов цеха. Предпочтение может быть отдано схеме треугольник-звезда с глухим заземлением нейтрали из-за снижения влияния высших гармоник кратных трем, на сеть и уменьшения сопротивления трансформатора токам нулевой последовательности при однофазных коротких замыканиях, увеличения надежности срабатывания защит на низкой стороне трансформатора.



Технические характеристики КТП приведены в приложении П4, данные по трансформаторам тока проводятся в приложении П5.

**ПРИМЕР** выбора мощности силовых трансформаторов и расчета компенсации реактивной мощности.

Электроприемники II категории рекомендуется обеспечивать питанием от двух независимых, взаиморезервирующих источников питания. При нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала. Таким образом, к установке принимается двухтрансформаторная подстанция. Трансформаторная подстанция выполняется комплектной, с однорядным расположением оборудования. На КТП применяются масляные трансформаторы с боковыми выводами, которые дают возможность удобного сочленения трансформатора с распределительным устройством низкого напряжения и вводом высокого напряжения. Трансформаторы имеют герметичный бак повышенной прочности с азотной защитой масла (трансформаторы типа ТМЗ). Кроме трансформатора в состав КТП входят вводные ящики высокого напряжения с глухим присоединением кабеля, а также распределительное устройство низшего напряжения. Отсутствие коммутационного аппарата на высшей стороне обусловлено радиальным питанием трансформаторов. РУ НН собирается из шкафов: вводно-линейных, секционно-линейных и линейных. В шкафах находится коммутационно-защитная и измерительная аппаратура. В качестве коммутационно-защитной аппаратуры применяются автоматические воздушные выключатели серии ВА выдвигного исполнения. Автоматическое включение резерва на КТП не предусматривается, так как при II категории надежности это экономически не оправдано.

Состав нагрузки КТП представлен в таблице.

Таблица примера. Нагрузка трансформаторной подстанции

Тип нагрузки	$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , квар	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВ·А
Силовая	326,4	335,3	378,6	335,3	505,7
Осветительная	21,2	9,1	21,2	9,1	23,1
Сторонняя силовая	266,0	269,8	345,8	269,8	438,6
Сторонняя осветительная	24,3	10,3	24,3	10,3	26,4
Итого силовая	592,4	605,1	724,4	605,1	934,9
Итого освещение	45,5	19,4	45,5	19,4	49,5
Итого по КТП	637,9 ✓	624,5	769,9 ✓	624,5	991,3

Мощность одного трансформатора, кВ·А, при условии полной компенсации реактивной мощности определяется условием

$$S_{н.м} \geq \frac{P_{см}}{N \cdot K_3},$$

где  $P_{см}$  – суммарная среднесменная мощность по КТП, кВт;  $N$  – количество трансформаторов на КТП, шт.;  $K_3$  – коэффициент загрузки трансформаторов, о.е.; при преобладании нагрузок II категории принимается  $K_3 = 0,7$ ,

$$S_{н.м} \geq \frac{637,9}{2 \cdot 0,7} = 455,6.$$

Для установки выбираются трансформаторы ТМЗ – 630/6 со схемой соединения обмоток звезда-звезда с глухим присоединением нейтрали.

Предварительная проверка по допустимой перегрузке выбранных трансформаторов осуществляется по соотношению

$$1,3 \cdot S_n \geq P_p,$$

где  $P_p$  – расчетная активная мощность в целом по КТП, кВт,

$$1,3 \cdot 630 = 819,0 \geq 769,9.$$

Условие по допустимой перегрузке выбранных трансформаторов выполняется.

Действительный коэффициент загрузки трансформаторов при условии полной компенсации реактивной мощности, о.е.,

$$K_{3,д} = \frac{P_p}{NS_{н.м}}, \quad K_{3,д} = \frac{769,9}{2 \cdot 630} = 0,61.$$

*Компенсация реактивной мощности.*

Компенсация реактивной мощности выполняется с помощью комплектных конденсаторных установок, устанавливаемых на каждой секции шин 0,4 кВ КТП. Так как трансформаторы в нормальном режиме работают отдельно, целесообразно определять мощность конденсаторных батарей отдельно для каждой секции шин. Распределение нагрузки по секциям представлено в таблице.

Требуемая мощность конденсаторной установки определяется двумя условиями:

- пропускной способностью трансформаторов КТП



- обеспечением заданного коэффициента мощности на шинах КТП для выполнения баланса реактивной мощности в целом по предприятию.

Таблица примера. Распределение нагрузки по секциям

Тип нагрузки	$P_{см2}$ , кВт	$Q_{см2}$ , квар	$P_{p2}$ , кВт	$Q_{p2}$ , квар	$S_{p2}$ , кВ·А
1 секция					
Силовая (СП1-СП4, СП6, СП8-СП10)	171,2	184,6	217,4	184,6	285,2
Сторонняя силовая	135,8	133,1	176,5	133,1	221,1
Итого по 1 секции	307,0	317,7	393,9	317,7	506,1
2 секция					
Силовая (СП5, СП7, СП11-16)	155,2	150,7	200,2	150,7	250,6
Сторонняя силовая	130,2	136,7	169,3	136,7	217,6
Освещение	45,5	19,4	45,5	19,4	49,5
Итого по 2 секции	330,9	306,8	415,0	306,8	516,1

Требуемая мощность конденсаторных батарей для одной секции шин по первому условию, квар,

$$Q_{ку.мп1} = Q_p - Q_1,$$

где  $Q_1$  – реактивная мощность, которую можно передать через трансформатор с учетом требуемого коэффициента загрузки, квар,

$$Q_1 = \sqrt{(K_3 S_{н.т})^2 - P_p^2}.$$

Требуемая мощность конденсаторных батарей для одной секции шин по второму условию, квар,

$$Q_{ку.мп2} = Q_p - Q_3,$$

где  $Q_3$  – часть экономической реактивной мощности, потребляемой в часы максимальных нагрузок энергосистемы данной трансформаторной подстанцией, квар,

$$Q_3 = tg \varphi_3 P_p,$$

где  $tg \varphi_3$  – коэффициент мощности на шинах КТП, о.е., при котором потребление реактивной мощности не выходит за пределы экономических значений.

Так как в компенсации реактивной мощности участвуют также синхронные двигатели на стороне 6 кВ насосной и компрессорной предприятия, то принимается допущение, что для выполнения баланса реактивной мощности в целом по заводу значение коэффициента мощности на шинах данной КТП должно быть  $tg \varphi_3 = 0,3$ .

Из двух значений требуемой мощности выбирается большее.

Для первой секции шин, квар,

$$Q_1 = \sqrt{(0,7 \cdot 630)^2 - 393,9^2} = 198,2,$$

$$Q_{ку.мп1} = 317,7 - 198,2 = 119,5,$$

$$Q_3 = 0,3 \cdot 393,9 = 118,2,$$

$$Q_{ку.мп2} = 317,7 - 118,2 = 199,5.$$

Таким образом, на первой секции шин устанавливается регулируемая конденсаторная установка КРМ-0,4-200 мощностью 200 квар.

Для второй секции шин, квар,

$$Q_1 = \sqrt{(0,7 \cdot 630)^2 - 415,0^2} = 149,2,$$

$$Q_{ку.мп1} = 306,8 - 149,2 = 157,5,$$

$$Q_3 = 0,3 \cdot 415,0 = 124,5,$$

$$Q_{ку.мп2} = 306,8 - 124,5 = 182,3.$$

Таким образом, на второй секции шин устанавливается регулируемая конденсаторная установка КРМ-0,4-200 мощностью 200 квар.

Полная расчетная мощность с учетом компенсации, кВ·А,

$$S'_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{ку})^2}.$$

Для первой секции шин, кВ·А,

$$S'_p = \sqrt{393,9^2 + (317,7 - 200)^2} = 411,1.$$

Для второй секции шин, кВ·А,

$$S'_p = \sqrt{415,0^2 + (306,8 - 200)^2} = 428,5.$$

Суммарная полная мощность по КТП, кВ·А,

$$S'_{p\Sigma} = \sqrt{(P_{p1} + P_{p2})^2 + (Q_{p1} + Q_{p2} - \Sigma Q_{ку})^2}, \quad S'_{p\Sigma} = \sqrt{(393,9 + 415,0)^2 + (317,7 + 306,8 - 2 \cdot 200)^2} = 839,5.$$



Действительный коэффициент загрузки трансформаторов после компенсации реактивной мощности, о.е.,

$$K_{3,0} = \frac{S'_p}{S_{н,м}}$$

Для первой секции шин, о.е.,

$$K_{3,0} = \frac{411,1}{630} = 0,65$$

Для второй секции шин, о.е.,

$$K_{3,0} = \frac{428,5}{630} = 0,68$$

Проверка по допустимой перегрузке трансформаторов КТП после компенсации реактивной мощности

$$1,3 \cdot S_{н,м} \geq S'_{p\Sigma}$$

$$1,3 \cdot 630 = 819,0 \leq 839,5$$

Условие по допустимой перегрузке трансформаторов не выполняется. Для выполнения условия в послеаварийном режиме необходимо отключать нагрузку III категории надежности в размере 20,5 кВ·А, которая имеется среди приемников сторонней нагрузки.