

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет

Г.П. КОЛЕСНИК

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ: ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Учебное пособие

Владимир 2006

УДК 628.921.95

ББК 31.294

К60

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой информатики
и информационных технологий Владимирского государственного
педагогического университета

Ю.А. Медведев

Начальник участка наружного освещения
Владимирских городских электрических сетей, инженер

С.В. Бурдыкин

Кандидат технических наук, доцент
кафедры «Приборостроение и информационно-измерительные технологии»
Владимирского государственного университета

В.С. Грибакин

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Колесник, Г. П.

К60 Электрическое освещение : основы проектирования : учеб. пособие /
Г. П. Колесник ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос.
ун-та, 2006. – 127 с.
ISBN 5-89368-651-9.

Содержит основы проектирования и практические указания по устройству, проектированию и эксплуатации осветительных установок внутреннего и наружного освещения. Рассматриваются выбор нормируемых характеристик, типы источников света, виды и системы освещения, схемы питания и управления, а также вопросы расчета освещения и осветительных сетей.

Предназначено для студентов специальности 140211 – электроснабжение всех форм обучения. Может служить руководством по вопросам проектирования электрического освещения при выполнении курсовых проектов студентами строительных специальностей.

Табл. 25. Ил. 17. Библиогр.: 19 назв.

УДК 628.921.95

ББК 31.294

ISBN 5-89368-651-9

© Владимирский государственный
университет, 2006

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	6
1.1. Общие положения	6
1.2. Светотехнические расчеты осветительных установок.....	7
1.2.1. Выбор видов и системы освещения.....	7
1.2.2. Выбор источников света	8
1.2.3. Выбор норм освещенности и коэффициента запаса	12
1.2.4. Выбор типа светильника (осветительных приборов (ОП)).....	13
1.2.5. Размещение светильников	14
1.3. Расчет прямой составляющей освещенности	20
1.3.1. Задачи расчета.....	20
1.3.2. Расчет освещенности по методу коэффициента использования	20
1.3.3. Точечный метод расчета прямой составляющей горизонтальной освещенности.....	23
1.3.4. Расчет точечным методом с использованием аналитического выражения КСС	25
1.3.5. Расчет освещенности на горизонтальной плоскости от светящей линии (рядов люминесцентных ламп).....	27
1.3.6. Расчет освещенности от светящей линии с использованием аналитического выражения КСС.....	29
1.3.7. Учет отраженной составляющей освещенности	30
2. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТА ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ	32
2.1. Задачи проектирования	32
2.2. Расчетные осветительные нагрузки	32
2.3. Напряжение осветительных сетей и его уровни.....	33
2.4. Схема питания ОУ различного назначения	34
2.5. Выбор типа и расположение магистральных и групповых щитков, компоновка сети и ее выполнение	35

2.6. Выбор сечений проводников по механической прочности	37
2.7. Выбор сечений проводников по нагреву	38
2.8. Расчет осветительной сети по потере напряжения	40
2.9. Компенсация реактивной мощности в осветительных сетях	43
3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ВНУТРЕННЕГО ОСВЕЩЕНИЯ	46
4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	46
4.1. Светотехническая часть. Нормы наружного освещения	46
4.2. Выбор, расположение и способ установки светильников	49
4.3. Расчет шага фонарей или отдельных светильников при нормировании средней яркости	50
4.4. Расчет шага фонарей или отдельных светильников при нормировании средней освещенности	51
4.5. Расчет показателя ослепленности	51
4.6. Электрическая часть. Расчет сетей наружного освещения по потере напряжения	53
4.6.1. Расчет осветительной сети при равномерной нагрузке фаз	53
4.6.2. Расчет осветительной сети при неравномерной нагрузке фаз	55
4.6.3. Расчет осветительных сетей с газоразрядными лампами по потере напряжения	57
5. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ	57
6. РАСЧЕТ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК	63
6.1. Коэффициент пульсации	63
6.2. Цилиндрическая освещенность	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	68
ПРИЛОЖЕНИЯ	69
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	125

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование и эксплуатация установок искусственного внутреннего и наружного освещения – один из важнейших аспектов деятельности инженера-электрика. Установки искусственного освещения являются самыми массовыми инженерными устройствами (более 1,5 млрд световых точек суммарной мощностью около 150 млн кВт) и потребляют около 20 % всей вырабатываемой электроэнергии (свыше 220 млрд кВт/ч). Поэтому профессиональный подход к их осуществлению и эксплуатации прямо связан с энергосбережением и уменьшением трудозатрат.

Соблюдение научно обоснованных светотехнических норм способствует исключению каких-либо объективных помех при решении той или иной зрительной задачи и комфортному восприятию визуальной информации без напряжения и утомления глаз. Если указанные нормативы не выполняются, то значительная часть жизненных сил человека расходуется на преодоление последствий “плохого освещения”.

Качественное, “хорошее освещение”, удовлетворяющее светотехническим нормам, позволяет человеку легко, быстро и безопасно ориентироваться, перемещаться в окружающей среде и выполнять ту или иную работу.

Предлагаемое учебное пособие, примерно совпадая с рабочей программой дисциплины “Электрическое освещение”, читаемой студентам специальности 140211 – электроснабжение, может служить им практическим пособием при решении различных задач освещения.

1. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

1.1. Общие положения

Проектирование осветительных установок (ОУ), являясь творческим процессом, подчиняется общим положениям принятым в СНиП 23-05-95, ВСН-59-88, СН-541-82. В общем случае различают следующие стадии проектирования: технико-экономическое обоснование (ТЭО); технический проект (ТП); рабочие чертежи (РЧ); техно-рабочий проект (ТРП).

Если проект освещения выполняется отдельно, вне комплекса всей проектной документации, то, как правило, он должен содержать одну стадию – ТРП. В остальных случаях рекомендуется выполнять два этапа проектирования ТЭО и ТРП и только в очень сложных случаях – все четыре. На этапе ТЭО в краткой пояснительной записке излагают основные положения, определяют общую мощность и приводят сметно-финансовый расчет. Задача ТП – принятие основных решений и определение окончательной стоимости установки. В состав ТП входят:

- пояснительная записка;
- ведомость основных технических показателей;
- заявочная ведомость электрооборудования, кабельные изделия и основные материалы;
- план-схема внутренней питающей сети и план внешней сети;
- основные строительные задания, смета.

В ведомости основных технических показателей указывается площадь помещения, преимущественная освещенность, преимущественный тип светильников, удельная и установленная мощность, число светильников общего и местного освещения, число контактных разъемных соединений, преимущественный род проводки.

Заявочные ведомости составляются укрупненно по общим характеристикам изделий. Например, светильники для взрывоопасных помещений, провода изолированные сечением от – до. Смета составляется в полном объеме.

Однако для выполнения полноценного проекта освещения надо знать о проектируемом объекте буквально все: детальную планировку здания по всем отметкам, включая разного рода площадки, подвалы, высоты помещений, особенности строительных конструкций, расположение технологического оборудования, вентиляции, водопровода, канализации и отопления, условия среды в помещениях, число рабочих и т.д.

Проектирование можно разделить на три части: светотехническую, электротехническую и составление схем и спецификаций. Однако для конкретного помещения все вопросы решаются комплексно, так, выбирая светильники и размещая их, необходимо учитывать условие трассировки групповых сетей. В сетевой части начальным и ключевым является вопрос о размещении групповых щитков, затем komponуются и наносятся на план все виды сетей, и производится расчет их сечений.

1.2. Светотехнические расчеты осветительных установок

Задачей светотехнического расчета осветительных установок (ОУ) в зависимости от назначения и нормативных требований к ним является определение значения освещенности в характерных точках на горизонтально, вертикально или наклонно расположенных поверхностях ($E_{\text{г}}$, $E_{\text{в}}$, $E_{\text{нк}}$), среднего значения освещенности $E_{\text{ср}}$ или яркости L , а также контроль обеспечения качественных характеристик ОУ – цилиндрической освещенности $E_{\text{ц}}$, коэффициента пульсации $K_{\text{п}}$, показателя ослепленности P или показателя дискомфорта M . При необходимости указанные величины определяются с учетом многократных отражений света.

1.2.1. Выбор видов и системы освещения

В соответствии со СНиП 23-05-95 искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное:

- *рабочее освещение* – обеспечивает необходимое условие во всех помещениях при нормальных режимах ОУ;
- *охранное освещение* – разновидность рабочего, устраивается по линии охраняемых границ территорий промышленных предприятий (0,5 лк на уровне земли);
- *аварийное освещение* – обеспечивает минимально необходимые осветительные условия для продолжения работы при временном погасании рабочего освещения в помещениях. Аварийное освещение разделяется на освещение безопасности и эвакуационное:
 - *эвакуационное освещение* – служит для безопасной эвакуации людей из помещения при аварийном погасании рабочего освещения;
 - *освещение безопасности* следует предусматривать в случаях, если отключение рабочего освещения и связанные с этим нарушения обслуживания оборудования и механизмов может вызвать взрыв, пожар, отравление людей, длительное нарушение технологического процесса, а также нарушение работы электрических станций, радиоузлов, телестудий, диспетчерских пунктов, насосных установок, вентиляционных камер помещений, в которых недопустимо прекращение работ и т.п.

Искусственное освещение может быть двух систем – *общее освещение и комбинированное освещение*. При выполнении в помещениях зрительных работ I – III, IVa, IVб, IVв, Va разрядов следует применять систему комбинированного освещения. Предусматривать систему общего освещения допускается при технической невозможности или нецелесообразности устройства местного освещения. Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять не менее 10 % нормируемой для комбинированного освещения при тех источниках света, которые применяются для местного освещения. При этом освещенность должна быть не менее 200 лк при разрядных лампах, не менее 75 лк при лампах накаливания. Отношение максимальной освещенности к минимальной не должно превышать для зрительных работ I – III разрядов при люминесцентных лампах 1,3, при других источниках света – 1,5, для зрительных работ разрядов IV – VII – 1,5 и 2,0 соответственно.

1.2.2. Выбор источников света

При выборе источников света руководствуются следующими соображениями.

1. Применять по возможности лампы наибольшей единичной мощности, не нарушая при этом нормальных требований к качеству освещения и отдавая предпочтение при равной мощности источникам света с наибольшей световой отдачей и сроком службы.

2. Для общего внутреннего и наружного освещения использовать преимущественно газоразрядные лампы (ГЛ).

3. При технической необходимости допускается применять в одном помещении лампы накаливания и газоразрядные лампы.

4. Не допускается питание газоразрядных ламп постоянным и переменным током при его возможном снижении ниже уровня 90 % от номинального.

5. Для общего внутреннего и наружного освещения могут применяться лампы накаливания (ЛН) (в том числе галогенные ГЛН) и газоразрядные лампы: низкого давления – люминесцентные (ЛЛ), и высокого давления ГЛВД (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, ДКсТ).

6. Лампы накаливания следует применять для общего внутреннего освещения:

- в производственных помещениях, где производятся работы VI и VIII разрядов;
- для технологических площадок, мостиков, переходов, площадок обслуживания крупного оборудования;

- в помещениях с тяжелыми условиями среды при отсутствии предназначенных для данных условий осветительных приборов (ОП) с газоразрядными лампами (ГЛ);

- в помещениях вспомогательных, бытовых и для временного пребывания людей;

- для аварийного и эвакуационного освещения в помещениях, освещаемых газоразрядными лампами высокого давления.

Для *местного освещения* допускается применять лампы накаливания в светильниках с непросвечивающими отражателями в следующих случаях:

- при отсутствии требований к правильной цветопередаче;
- в случае необходимости определенного и переменного направления света и при технической невозможности установки осветительных приборов с люминесцентными лампами.

Люминесцентные лампы (ЛЛ) рекомендуется применять:

- в помещениях, где требуется правильная цветопередача;
- в административно-канторских и лабораторных помещениях.

Для жарких помещений рекомендуются амальгамные ЛЛ.

Газоразрядные лампы (ГЛ) всех типов, за исключением ксеноновых, рекомендуются:

- для внутреннего освещения (как правило, обязательны для системы одного общего освещения в помещениях, где выполняются зрительные работы I – V и VII разрядов);

- для общего освещения в системе комбинированного;

- в помещениях без или с недостаточным естественным светом;

- предназначенных для постоянного пребывания людей.

Выбор типа ГЛ (ЛЛ, ДТЛ, ДРИ, ДНаТ) проводится в зависимости от назначения помещения, его высоты, характера выполняемых зрительных работ и др.

В *наружном освещении* (НО) используются:

- ЛН для охранного освещения; у входов в здания; прожекторных установках (наряду с ГЛВД); для архитектурно-декоративного освещения;

- ДРЛ и ДНаТ освещения территорий промышленных предприятий, улиц, площадей, скверов, парков;

- ДРИ в прожекторных установках разного назначения;

- ДКсТ при освещении больших открытых пространств.

Рекомендуемые цветовые параметры и примерные типы источников света (ИС) в зависимости от особенностей зрительной работы и требований к цветопередаче приведены в табл. 1. Рекомендации по выбору ГЛ для освещения производственных помещений (при отсутствии специальных требований к цветопередаче) приведены в табл. 2. Характеристики сме-

шанного освещения лампами ДНаТ+ДРЛ и ДНаТ+ДРИ, обеспечивающего комфортность смешанного освещения не меньшую, чем в ОУ с лампами типа ДРЛ, приведены в табл. 3. Номенклатура современных ИС приведена в прил. 1.

Таблица 1

Характеристика зрительной работы	Освещенность при общем освещении, лк	Индекс цветопередачи R_a для зданий, не менее	Цветовая температура $T_{цв}, K$	Тип источника света
Контроль цвета с очень высокими требованиями к цветоразличению	≥ 300	90	5000÷6500	ЛДЦ, ЛДЦ УФ, ЛХЕ, ЛЕЦ
Сопоставление цветов с высокими требованиями к цветоразличению	≥ 300	85	4000÷6500	ЛДЦ, ЛДЦ УФ, ЛХЕ, ЛЕ
Различение цветных объектов для контроля и сопоставления (сборка радиоаппаратуры и т.п.)	≥ 300 и более	50	3500÷6500	ЛБ, ДРИ, ЛХБ,
	150÷300	50	3000÷4500	ЛБ, ЛХБ
	<150	45	2700÷3500	ДНаТ+ДРИ ЛБ, ЛН, КГ, ДНаТ+ДРИ
Работа с ахроматическими объектами (механическая обработка металлов, пластмасс, сборка машин и инструментов и др.)	≥ 500	50	3500÷6400	ЛБ, ДРИ, ЛХБ
	300÷500	40	3500÷6500	ЛБ, ДРИ, ДРЛ, ЛХБ, ДНаТ+ДРИ
	150÷300	30	3000÷4500	ЛБ, ДРЛ, ЛХБ, ДНаТ+ДРИ
	<150	25	2100÷3500	ЛБ, ДНаТ, ЛТБ, ЛН, КГ, ДНаТ+ДРИ

Таблица 2

Тип лампы	Система освещения	Характеристика зрительных работ по СНиП 23-05-95					Строительный модуль, м					
		Разряд работы	Освещенность, лк	Коэффициент пульсации K_n , %	Показатель неравномерности, n	Показатель ослепленности, P	6×6	6×12	6×8	6×4	12×18	
												Высота установок светильника, м
ЛЛ	Общее	I, II III IV÷VII	300÷1500 200÷500 100÷300	10 15 20	1,5 1,5 1,8	20 40 40,60	<4,4 <3,6 <7,2	<5,4 <4,8 <3,6	<6,0 <4,8 <6,0	<6,0 <6,0 <5,4	<9,6 <7,2 <5,4	
		Общее в системе комбинированного	I÷III IV, V	150÷500 150	20 20	1,5 1,8	20,40 40	<3,2 <7,2	<3,6 <3,6	<4,8 <6,0	<5,4 <5,4	<6,0 <5,4
			ДРИ	Общее	I II, III IV÷VII	300÷1500 200÷500 100÷300	10 15 20	2,0 2,0 3,0	20 40 40,60	4,5÷7,2 3,7÷6,0 —	5,5÷8,4 4,9÷6,0 3,7÷6,0	6,1÷8,4 4,9÷6,0 6,1÷7,2
Общее в системе комбинированного	I÷III IV, V	150÷500 150			20 20	2,0 3,0	20,40 40	3,3÷5,4 —	3,7÷6,0 3,7÷6,0	4,9÷6,0 6,1÷7,2	5,5÷7,2 5,5÷6,0	6,1÷10,8 6,1÷10,8
	ДРЛ	Общее			I,II III IV÷VII	300÷1500 200÷500 100÷300	10 15 20	2,0 2,0 3,0	20 40 40,60	≥7,3 ≥6,1 ≥7,3	≥8,5 ≥6,1 ≥6,1	≥8,5 ≥6,1 ≥7,3
Общее в системе комбинированного			I÷III IV, V	150÷500 150	20 20	2,0 3,0	20,40 40	≥5,5 ≥7,3	≥6,1 ≥6,1	≥7,3 ≥7,3	≥7,3 ≥6,1	≥10,9 ≥10,9

Таблица 3

Тип ИС в ОУ смешанного освещения	Рекомендуемые разряды зрительной работы по СНиП 23-05-95	Характеристика смешанного освещения			
		Соотношение световых потоков ($\Phi_1:\Phi_2$), % Φ_{Σ}	Соотношение мощностей ($P_1:P_2$), % P_{Σ}	$T_{цв}$, К	R_a
ДРЛ+ДНаТ	IIIб, IIIв, IVа, IIIг, IVб и ниже	100:0 – 75:25	100:0 – 86:14	3450	37
		75:25 – 50:50	86:14 – 67:33	300	34
ДРИ+ДНаТ	IIIб, IIIв, IVа, IIIг, IVб и ниже	100:0 – 55:45	100:0 – 62:38	3500	48
		55:45 – 38:62	62:38 – 45:55	3100	44

Примечание. Φ_2 и P_2 соответственно доли ДНаТ в суммарном световом потоке Φ_{Σ} и суммарной мощности P_{Σ} .

1.2.3. Выбор норм освещенности и коэффициента запаса

Проектирование осветительных установок (ОУ) регламентировано СНиП 23-05-95, отраслевыми нормами искусственного освещения, инструкциями по проектированию, а также ПУЭ и некоторыми другими нормативными документами.

Нормируемые значения освещенности в СНиП 23-05-95 приводятся в точках ее минимального значения на рабочей поверхности внутри помещения для разрядных источников света (кроме оговоренных случаев); для наружного освещения – для любых источников света.

Нормированные значения освещенности в люксах, отличающихся на одну ступень, следует принимать по шкале: 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 10; 15; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000.

К условиям, требующим повышения уровня освещенности, найденного по СНиП, относятся: повышенная длительность напряженной зрительной работы в течение рабочего дня, большое удаление объекта от глаз наблюдателя (более 0,5 м), отсутствие естественного освещения и т.д. Снижение освещенности на одну ступень возможно в случае малолюдного производства с оборудованием, не требующим постоянного обслуживания, или в помещениях, предназначенных для кратковременного пребывания людей.

Требования к освещению помещений промышленных предприятий следует принимать по табл. 1 СНиП 23-05-95, а требования к нормам средней яркости усовершенствованных покрытий при проектировании наружного освещения по табл. 11 СНиП 23-05-95. Коэффициент запаса K_z при проектировании естественного, искусственного и совмещенного освещения выбирается по табл. 3 СНиП 23-05-95. Упомянутые таблицы приведены в прил. 2.

1.2.4. Выбор типа светильника (осветительных приборов (ОП))

Выбор типа светильников следует производить с учетом характера их светораспределения, экономической эффективности и условий окружающей среды. Это означает, что ОП должны соответствовать типу лампы; конкретной светотехнической функции (общего, местного или комбинированного освещения); форме фотометрического тела, классу светораспределения и типу КСС; возможности перемещения при эксплуатации (стационарные и переносные); способу установки; классу защиты от поражения электрическим током и степени защиты от пыли и воды; исполнению для работы в определенных условиях эксплуатации; способу питания ламп; возможности изменения светотехнических характеристик и т.д.

Условия окружающей среды, соответствующие помещения и зоны следующие.

Пожароопасные помещения и зоны класса:

П-I – помещения, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 61°C (например склады минеральных масел и т.д.);

П-II – помещения, в которых выделяются горючие пыли или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м^3 ;

П-IIa – помещения, в которых обращаются твердые или волокнистые горючие вещества;

П-III – зоны, расположенные вне помещения, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61°C (например, открытые склады минеральных масел) или твердые горючие вещества (например, открытые склады угля, торфа, дерева и т.д.).

Помещения:

Пыльные. Помещения, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль (проводящая или непроводящая) в таком количестве, что она может оседать на проводах, проникать внутрь машин, аппаратов и т.п.

Сухие. Помещения, в которых относительная влажность не превышает 60 % при 20°C . Нормальные сухие помещения, в которых отсутствуют условия, характерные для помещений жарких и пыльных, и с химически активной средой.

Влажные. В которых пары или конденсирующаяся влага выделяются лишь временно и в небольших количествах и относительная влажность которых более 60 %, но не выше 75 % при 20°C .

Сырые. В которых относительная влажность длительно превышает 75 % при 20°C .

Особо сырые. Помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100 % (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой) при 20 °С.

Жаркие. Помещения, в которых температура длительно превышает 30 °С.

Химически активные. Помещения, в которых по условиям производства постоянно или длительно содержатся пары или образуются отложения, действующие разрушающе на изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

С повышенной опасностью. Характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

- сырости или проводящей пыли;
- токопроводящих полов;
- высокой температуры;
- возможности одновременного прикосновения человека к заземленным конструкциям зданий и корпусам технологических механизмов с одной стороны и корпусам электрооборудования с другой.

Особо опасные помещения характеризуются наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:

- особой сырости;
- химически агрессивной среды;
- одновременного наличия двух или более условий повышенной опасности.

Во взрыво- и пожароопасных зонах следует применять светильники, удовлетворяющие требованиям глав 7.3 и 7.4 ПУЭ [13]. Минимально допустимую степень защиты светильников по ГОСТ 17677-82-1 и ГОСТ-14254-80 для освещения непожаро- и невзрывоопасных помещений с разными условиями среды следует принимать по табл. 4.

Указания по выбору светильников различного назначения и их светотехнические характеристики приведены в [8, глава третья] и прил. 3.

1.2.5. Размещение светильников

При размещении ОП в производственных помещениях и установках наружного освещения необходимо учитывать следующие основные условия:

- а) создание нормируемой освещенности наиболее экономичным путем;
- б) соблюдение требований к качеству освещения (равномерность, направление света, ограничение теней, пульсации освещенности, а также прямая и отраженная блескость);
- в) безопасный и удобный доступ для обслуживания;
- г) наименьшую протяженность и удобство монтажа групповой сети;
- д) надежность крепления ОП.

Таблица 4

№ п/п	Минимально допустимая степень за- щиты све- тильников	Тип источника света	Условия среды						
			Нормальные	Влажные	Сырые	Особо сырые	Химически активные	Пыльные	Жаркие
1	IP20	ЛЛ	+	*	--	--	--	*	+
2	IP20	ЛН, ГЛВД	+	*	*	--	--	*	+
3	IP23	ЛЛ, ЛН, ГЛВД	(--)	+	*	*	*	*	*
4	2'0	ЛЛ	+	*	(--)	--	--	--	*
5	2'0	ЛН, ГЛВД	+	*	(--)	--	--	--	*
6	5'0	ЛН, ГЛВД	(--)	(--)	*	--	*	+	+
7	5'3	ЛН, ГЛВД	(--)	(--)	*	*	*	+	*
8	IP51	ЛН	(--)	(--)	+	+	*	+	*
9	5'4	ЛЛ	(--)	(--)	+	+	+	+	+
10	IP53	ЛН, ГЛВД	(--)	(--)	+	+	+	+	*
11	IP54	ЛЛ	(--)	(--)	+	+	+	+	*
12	IP54	ЛН	(--)	(--)	+	+	+	+	*
13	IP54	ГЛВД	(--)	(--)	+	+	+	+	*

Примечание. В табл. 4 использованы следующие условные обозначения:

«+» – светильники рекомендуются;

«*» – светильники допускаются;

«--» – светильники запрещаются;

«(--» – применение светильников возможно, но нецелесообразно.

Расположение светильников может быть светотехнически наивыгоднейшим, энергетически наивыгоднейшим и экономически наивыгоднейшим. Решением задачи является обычно определение отношения расстояния между светильниками L к расчетной высоте h , обозначаемого λ с индексами «с», «э» и «о» соответственно. Уменьшение значения λ удорожает устройство и обслуживание освещения, а чрезмерное увеличение приводит к резкой неравномерности освещения и возрастанию расходов энергии. Рекомендации по выбору λ приведены в табл. 5. Расчетное значение λ принимается по табл. 5 в зависимости от источника света и вида КСС светильника. Расстояние между светильниками в ряду или между рядами светильников определяется по формуле

$$L = h\lambda = (h_{\text{п}} - h_{\text{р}})\lambda = (H - h_{\text{с}} - h_{\text{р}})\lambda, \text{ м.}$$

Светильники с люминесцентными лампами рекомендуется устанавливать рядами, преимущественно параллельно длинной стороне помеще-

ния или стене с окнами. Значение L в этом случае числится как расстояние между рядами.

Типичные случаи расположения светильников в разрезе и плане производственного помещения показанного на рис. 1.

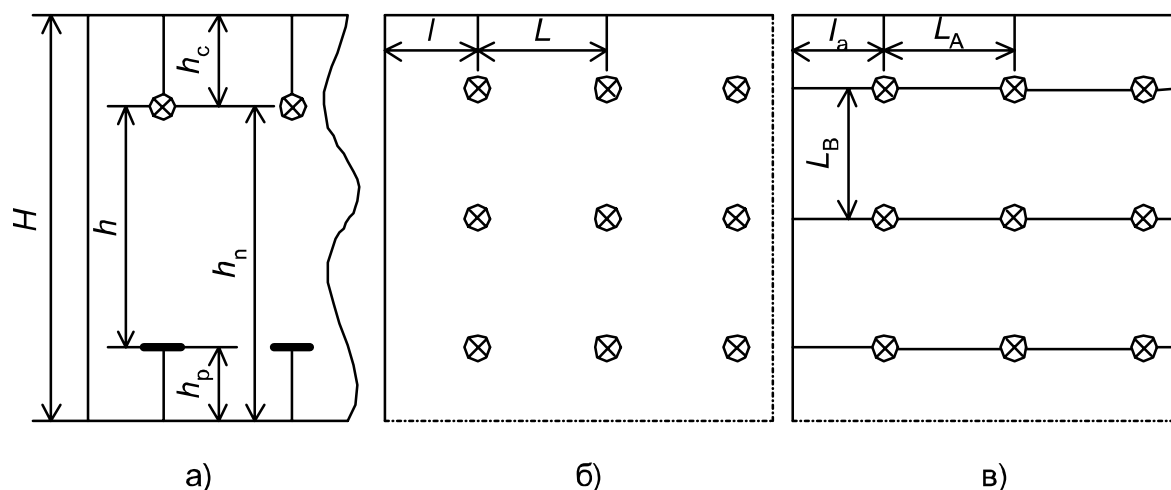


Рис. 1. Схемы расположения светильников: а – в разрезе; б, в – в плане

Расстояние крайних рядов светильников от стены принимается в пределах $\ell = (0,3 \div 0,5)L$ в зависимости от наличия вблизи стен рабочих мест. Для помещения с геометрическими размерами $L_A \times L_B \times H$, м, где L_A и L_B – соответственно длина и ширина помещения. Число рядов светильников, расположенных параллельно длинной стороне помещения, вычисляется по формуле

$$n = (L_B - 2l_b) / L + 1,$$

где l_b – расстояние крайних рядов светильников до стены А. Затем полученное значение n округляется до ближайшего целого числа, уточняется при неизменном L значение l_a и проверяется выполнение условия $l = (0,3 \div 0,5)L_A$.

Таблица 5

Тип КСС	λ_c	λ_z
К – концентрированная	0,6	0,6
Г – глубокая	0,9	1,0
Д – косинусная	1,4	1,6
М – равномерная	2,0	2,6
Л – полуширокая	1,6	1,8

Светильники с «точечными» источниками света (лампы накаливания и газоразрядные лампы ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и т.д.) располагаются по верши-

нам квадратных, прямоугольных или треугольных световых полей, и в общем случае число светильников в ряду N определяется по формуле

$$N = (L_A - 2l_a) / L + 1,$$

где l_a – расстояние крайних светильников в ряду до стены B .

В случае прямоугольных полей расстояние L_a между светильниками в ряду должно быть больше расстояния между рядами светильников L_B . Общепринято выдерживать соотношение $L_a / L_B \leq 1,5$. В пределе при $L_a = L_b = L$ получим квадратное световое поле.

Методика расчета схемы расположения светильников в цехе промышленного предприятия без учета расположения оборудования и затеняющих конструктивных элементов здания изложена в примерах 1 и 2.

Пример 1. Освещение механического цеха выполнено люминесцентными лампами в светильниках ЛСП 02, расположенных в виде светящихся линий. Размеры цеха: $A \times B \times H = 48 \times 24 \times 6$, м. Высота рабочей поверхности $h_p = 0,8$ м (по СНиП). Расстояние светильника от перекрытия (высота свеса) $h_c = 0,5$ м. Определить число рядов светильников и изобразить схему их размещения.

Решение.

1. Расчетная высота светильника

$$h = H - h_c - h_p = 6 - 0,8 - 0,5 = 4,7 \text{ м.}$$

2. Расстояние между рядами светильников: $L = h\lambda_c$, где $\lambda_c = 1,4$ для светильников с косинусным светораспределением в соответствии с табл. 5 и табл. 4.16 [8]. Согласно паспортным данным светильник ЛСП 02 имеет косинусную КСС. Тогда $L = h\lambda_c = 4,7 \cdot 1,4 = 6,58$ м. Окончательно принимаем значение $L = 6,5$ м.

3. Число рядов светильников при их расположении параллельно длинной стене цеха:

$$\begin{aligned} n &= (L_B - 2l_b) / L + 1 = (L_B - 2(0,3 \div 0,5) \cdot L / L) + 1 = \\ &= \frac{24 - 2 \cdot 6,5(0,3 \div 0,5)}{6,5} + 1 = 4,092 \div 3,692. \end{aligned}$$

Принимаем $n = 4$, тогда $l_b = (L_B - L(n - 1)) / 2 = \frac{24 - 6,5(4 - 1)}{2} = 2,25$ м.

Отношение l_b к L_B находится в диапазоне $(0,3 \div 0,5)L$, что удовлетворяет принятым условиям. Схема расположения светильников с учетом результатов расчета примера 1 показана на рис. 2.

Пример 2. Инструментальный цех освещается лампами ДРЛ в светильниках РСП 05 с КСС типа Г. Размеры цеха $A \times B \times H = 60 \times 30 \times 10$ м. На-

метить размещение светильников в цехе при значениях высоты рабочей поверхности $h_p = 0,8$ м и высоты свеса $h_c = 1,2$ м.

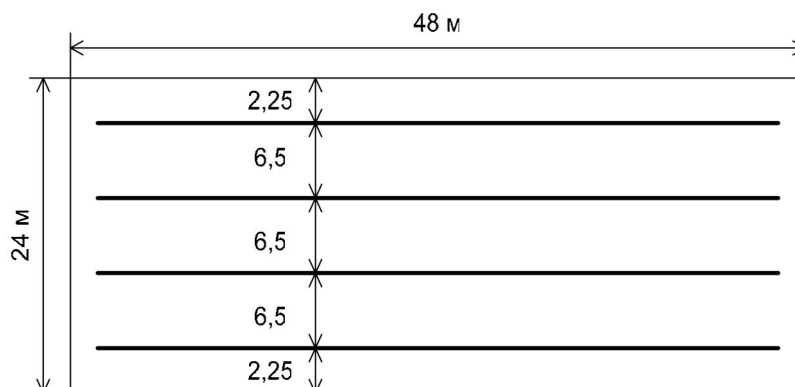


Рис. 2. Схема расположения светильников примера 1

Решение.

1. Расчетная высота светильника

$$h = H - h_c - h_p = 10 - 0,8 - 1,2 = 8 \text{ м.}$$

2. Выбирая по табл. 5 значение $\lambda_s = 1$ для светильника с глубокой КСС, определим расстояние между светильниками в ряду, расположенном параллельно длинной стороне цеха: $L_a = h\lambda = 8 \cdot 1 = 8$ м.

3. Число светильников в ряду

$$\begin{aligned} N' &= ((L_A - 2l_a) / L_a) + 1 = (L_A - 2(0,3 \div 0,5)L_a) / L_a + 1 = \\ &= \frac{60 - (0,6 \div 1,0)8}{8} + 1 = 7,9 \div 7,5. \end{aligned}$$

Выбираем $N' = 8$. Расстояние до длинной стены l_a можно определить по формуле

$$l_a = (L_A - L_a(N' - 1)) / 2 = \frac{60 - 8(8 - 1)}{2} = 2 \text{ м.}$$

Отношение $l_a / L_a = 2 / 8 = 0,25$, что несколько меньше 0,3, но может быть принято к реализации (с учетом рекомендаций СНиП 23-05-95 по уровням горизонтальной освещенности общего освещения в системе комбинированного в проходах цеха без рабочего оборудования).

4. Число рядов светильников:

1) При расположении светильников по вершинам квадратных световых полей выполняется равенство $L_a = L_b = 8$ м. Тогда число рядов светильников

$$\begin{aligned} n &= ((L_B - 2l_b) / L_b) + 1 = (L_B - 2(0,3 \div 0,5)L_b) / L_b + 1 = \\ &= (L_B - (0,6 \div 1,0)L_b) / L_b + 1 = \frac{30 - (0,6 \div 1,0)8}{8} + 1 = 4,15 \div 3,75. \end{aligned}$$

Выбираем $n = 4$ и определяем число светильников в цехе:

$$N = nN' = 4 \cdot 8 = 32.$$

Уточним значение l_b для выбранного числа рядов светильников

$$l_b = (L_B - L_b(n-1))/2 = \frac{30 - 8(4-1)}{2} = 3 \text{ м.}$$

Отношение $l_b / L_b = 3/8 = 0,375$, что удовлетворяет условию $l_b = (0,3 \div 0,5) L_b$.

2) При расположении светильников по вершинам прямоугольных полей значение L_b выбираем из условия $L_a / L_b \leq 1,5$ или $L_a / 1,5 \leq L_b \leq L_a$.

Тогда $8/1,5 \leq L_b < 8$ или $5,33 \leq L_b < 8$. Выбираем значение $L_b = 6$ м и рассчитываем число рядов светильников:

$$n = (L_B - (0,6 \div 1,0) L_b) / L_b + 1 = \frac{30 - (0,6 \div 1,0) 6}{6} + 1 = 5,4 \div 5.$$

Принимая значение $n = 5$, определяем число светильников в цехе: $N = nN' = 5 \cdot 8 = 40$. При этом $l_a = (L_B - L_b(n-1))/2 = \frac{30 - 6(5-1)}{2} = 3$ м, как и в предыдущем случае.

Схема расположения светильников примера 2 для рассмотренных случаев расположения светильников по вершинам квадратных и прямоугольных световых полей показана на рис. 3. Окончательный выбор схемы расположения светильников производится после расчета наименьшей освещенности в контрольных точках цеха и определения значения коэффициента неравномерности (под наименьшей понимается величина нормируемой освещенности для конкретного типа производства в соответствии со СНиП 23-05-95).

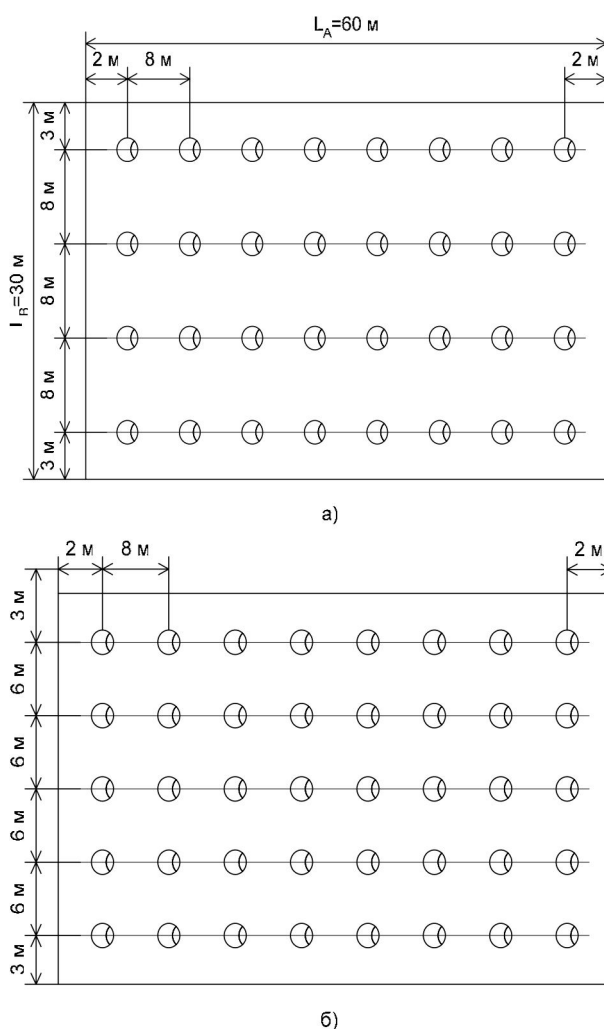


Рис. 3. Схема расположения светильников примера 2: а) – для квадратных световых полей; б) – для прямоугольных световых полей

1.3. Расчет прямой составляющей освещенности

1.3.1. Задачи расчета

При расчете осветительной установки (ОУ), как правило, определяют число и мощность источников света для реализации нормированной освещенности в заданной точке пространства. В некоторых случаях проводят поверочные расчеты существующей осветительной установки с целью оптимизации ее количественно-энергетических показателей.

В зависимости от поставленной задачи выбирается метод расчета:

- *метод коэффициента использования светового потока*, предназначенный для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей при отсутствии крупных затеняющих предметов (для этой же цели служат различные упрощенные формы этого метода);

- *точечный метод* – служит для расчета освещения как угодно расположенных поверхностей относительно светильника и при любом распределении освещенности.

Отметим, что независимо от выбранного метода расчета освещенности размещение светильников должно проводиться с учетом размещения оборудования и его затеняющих свойств.

1.3.2. Расчет освещенности по методу коэффициента использования

При расчете освещенности от точечного источника методом коэффициента использования берется рабочая формула

$$E_{\text{н}} = \frac{N\Phi\eta}{SzK_3}, \text{ лк, из которой в зависимости от поставленной задачи}$$

можно получить:

- суммарный световой поток ламп светильника $\Phi = \frac{E_{\text{н}}SzK_3}{N\eta};$

- число светильников $N = \frac{E_{\text{н}}SzK_3}{\Phi\eta}.$

Значение коэффициента минимальной освещенности z на практике принимают равным 1,15 при расположении светильников по вершинам квадратных световых полей и $z = 1,1$ при освещении линиями люминесцентных светильников. В установках отраженного света или хорошо отражающих стенах $z = 1$.

При известном числе светильников рассчитывается поток Φ и выбирается по каталогу стандартная лампа так, чтобы ее поток отличался от расчетного значения потока Φ не более чем на $-10 \div +20 \%$. В противном случае корректируется значение N .

При расчете освещенности от светящихся линий люминесцентных светильников в выражение для E_n подставляется число рядов n вместо числа светильников N , т.е.:

$$E_n = \frac{n\Phi\eta}{SzK_3},$$

где Φ – суммарный поток ламп светящей линии.

При выбранном типе светильника с люминесцентными лампами и суммарным световым потоком $\sum \Phi_n$ число светильников в ряду $N_{с.л}$ (светящей линии) равно: $N_{с.л} = \frac{\Phi}{\sum \Phi_n}$.

Суммарная длина $N_{с.л}$ светильников должна быть сопоставимой с длиной помещения, и в случае отличия возможна реализация одного из трех случаев.

1. При превышении длины светящей линии над длиной помещения возможны следующие решения:

- а) увеличение числа рядов светящихся линий;
- б) компоновка рядов на сдвоенных (строенных и т.д.) светильниках;
- в) применение люминесцентных ламп с большим значением Φ_n .

2. Устройство непрерывного ряда светильников при равенстве длин светящей линии и помещения.

3. Устройство разрывного ряда светильников светящей линии с равномерными расстояниями между светильниками в ряду, удовлетворяющем условию, что расстояние между светильниками λ не превысит половины расчетной высоты h .

Коэффициент использования η , определяющий экономичность светильника, зависит от его КПД (пропорционально), КСС – от коэффициентов отражения потолков ρ_n , стен ρ_c , расчетной плоскости ρ_p и от значения индекса помещения i , который определяется по формуле

$$i = \frac{S}{h(A+B)},$$

где A и B – стороны помещения; S – его площадь; h – расчетная высота.

Зависимость η от перечисленных факторов учитывается тем, что для каждого светильника или группы светильников с близкими характеристиками составляется отдельная таблица коэффициентов использования, в которой также учитывается характерное значение λ_c светильника и коэффициенты отражения. Отметим, что коэффициенты отражения оцениваются субъективно или предположительно, и так как их точные значения неизвестны, то из усредненных значений $\rho_n = \rho_c = 70; 50; 30; 10 \%$ и $\rho_p = 30; 10; 0 \%$ выбираются их наиболее вероятные сочетания.

Значения индекса помещения i и коэффициента использования η в функции модуля помещения и коэффициентов отражения приведены в прил. 4.

Пример 3. Выполнить светотехнический расчет осветительной установки механического цеха по данным примера 1 методом коэффициента использования.

Решение.

1. По таблицам прил. 2 для общего освещения в системе комбинированного принимаем $E_n = 300$ лк и $K_z = 1.5$.

В качестве источника света выбираем лампу ЛБ-80 с номинальным световым потоком $\Phi_n = 5200$ лк (табл. П1.1), в светильнике ЛСП 02 (группа 2 согласно табл. 3.2 [8]).

2. Определяем индекс помещения:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{48 \cdot 24}{4,7 \cdot (48 + 24)} = 3,4.$$

3. По значению i и принятым значениям коэффициентов отражения $\rho_n = 0,7$; $\rho_c = 0,3$; $\rho_p = 0,1$ (табл. П4.3) находим по данным табл. П4.4 коэффициент использования светового потока $\eta = 0,69$.

4. Определяем световой поток одного ряда ламп (по расчетным данным примера 1 значение $n = 4$):

$$\Phi = \frac{E_n S_z K_z}{N \eta} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 48 \cdot 24 \cdot 1,1}{4 \cdot 0,69} = 2006608,7 \text{ лм.}$$

5. Число светильников в ряду (каждый светильник с двумя лампами)

$$N_{с.л} = \frac{\Phi}{2\Phi_n} = \frac{2006608,7}{2 \cdot 5200} = 19,86.$$

Принимаем $N_{с.л} = 20$, тогда при длине светильника ЛСП 02 (по [8], табл. 3.9) $l_{с.в} = 1,534$ м, суммарная длина светильников в ряду составит:

$$L_{св} = l_{св} N_{с.л} = 1,534 \cdot 20 = 30,68 \text{ м} < 48 \text{ м.}$$

При расположении светильников в ряд суммарный разрыв между светильниками составит: $\sum \lambda = L_A - L_{св} = 48 - 30,68 = 17,32 \text{ м.}$

Тогда расстояние между соседними светильниками в ряду

$$\lambda = \sum \lambda / (N_{с.л} + 1) = 17,32 / (20 + 1) = 0,82 \text{ м} \leq 0,5 \cdot h = 4,7 / 2 = 2,35 \text{ м.}$$

При полученном соотношении между λ и $h/2$ ряд светильников можно считать сплошным (сплошная светящая линия).

Пример 4. Выполнить светотехнический расчет осветительной установки инструментального цеха по данным примера 2 методом коэффициента использования при заданных значениях коэффициентов отражения $\rho_n = 0,7$; $\rho_c = 0,5$; $\rho_p = 0,1$.

Решение.

1. Определяем индекс помещения: $i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{60 \cdot 30}{8(60+30)} = 2,5$.

2. По данным табл. 5.9 [8] или П4.4 для найденного значения i и заданных коэффициентов $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{с}}$, $\rho_{\text{р}}$ определяем значение $\eta = 0,76$ (для светильника РСП 05 с КСС типа Г).

3. При $E_{\text{н}} = 300$ лк и $K_3 = 1,5$ получим расчетное значение светового потока одной лампы (светильники расположены по вершинам прямоугольных полей):

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} K_3 S z}{N \eta} = \frac{30 \cdot 1,5 \cdot 60 \cdot 30 \cdot 1,15}{40 \cdot 0,76} = 30641,45 \text{ лм.}$$

По результатам расчета по данным табл. П1.1 выбираем лампу типа **SPX EKO ARC 295 W** с номинальным световым потоком $\Phi_{\text{н}} = 32000$ лм фирмы **Sylvania** или лампу типа **NAV E 400 DE LUXE** фирмы **Osram**.

1.3.3. Точечный метод расчета прямой составляющей горизонтальной освещенности

Ставится задача обеспечения наименьшей освещенности при выбранном типе светильников с точечными излучателями, а также их расположения и известном коэффициенте запаса K_3 . Расчет ведется для наихудшего случая, т.е. для точки наименее освещенной в пределах поверхности, на которой должна быть обеспечена нормированная освещенность. Для этого определяют расстояние d_i от контрольной точки до проекции каждого светильника на расчетную поверхность и по графикам пространственных изолукс [8] или с использованием аналитического выражения КСС, при известной расчетной высоте h находят значение относительной освещенности ε или e (для лампы со световым потоком в 1000 лм) каждого светильника и, суммируя их расчетные значения, определяют суммарную относительную освещенность $\Sigma\varepsilon$ или Σe от группы светильников в контрольной точке. Влияние удаленных светильников, не учтенных в данных суммах, а также света, отраженного от стен и потолков помещения, учитывается коэффициентом дополнительной освещенности μ . Из-за сложности расчет точного значения коэффициента дополнительной освещенности обычно принимают $\mu = 1,0 \div 1,2$. Тогда значение реализуемого светового потока Φ определяется по формуле

$$\Phi = \frac{1000 E_{\text{н}} K_3 h^2}{\eta_{\text{н}} \mu \Sigma \varepsilon}, \text{ лм, или } \Phi = \frac{1000 E_{\text{н}} K_3}{\eta_{\text{н}} \mu \Sigma e}, \text{ лм,}$$

где $\eta_{\text{н}}$ – КПД осветительного прибора для нижней полусферы (при использовании графиков линейных изолукс не учитывается).

Отметим, что при общем равномерном освещении крупных помещений основными контрольными точками, в которых определяются минимальные значения суммарной относительной освещенности Σe , являются центр углового поля и середина его длинной стороны. Возможны и другие точки с учетом влияния затеняющих объектов.

После определения значения светового потока Φ подбирается лампа, световой поток которой отличается от расчетного не более чем на $-10 \div +20 \%$, и при невозможности подбора близкой по параметрам корректируется положение светильников (меняется число светильников в ряду или число рядов).

Вышеприведенную формулу для потока Φ можно также использовать для определения освещенности в контрольной точке при известном суммарном световом потоке светильника (лампы).

Пример 5. Выполнить проверку светотехнического расчета примера 4 точечным методом. Схема расположения светильников показана на рис. 4. Контрольная точка А расположена в середине прямоугольного поля размером 6×8 м, а точка Б в середине длинной стороны светового поля. Расстояние d_i определяется по геометрическому построению с использованием рис. 4. Относительные освещенности от каждого светильника РСП 05 находятся по пространственным изолуксам условной горизонтальной освещенности (см. рис. 6 – 30 [8]). Результаты расчета упомянутых величин с учетом количества равноудалённых светильников приведены в табл. 6.

Таблица 6

Точка	Номера светильников	d_i , м	e , м	ne , лк	Σe , лк
А	1,2,3,4,5	5	3,5	14	14,88
	9,6	9,84	0,35	0,7	
	7,8	12,36	0,09	0,18	
Б	13,16	4	5	10	13,07
	14,17	7,2	1,4	2,8	
	15,18	12,6	0,08	0,16	
	10	12	0,11	0,11	

Суммарная относительная освещенность в точке Б оказывается меньше, чем в точке А. Следовательно, прямая составляющая горизонтальной освещенности в точке Б оказывается наименьшей, и именно в ней необходимо определить фактическую освещенность. Принимая значение $\mu = 1,1$,

$$E = \frac{\Phi_n \mu \Sigma e}{1000 K_3} = \frac{32000 \cdot 1,1 \cdot 13,07}{1000 \cdot 1,5} = 321,493 \text{ лк.}$$

Фактическая освещенность отличается от нормированной $E_n = 300$ лк на 7,16 %, что вполне допустимо.

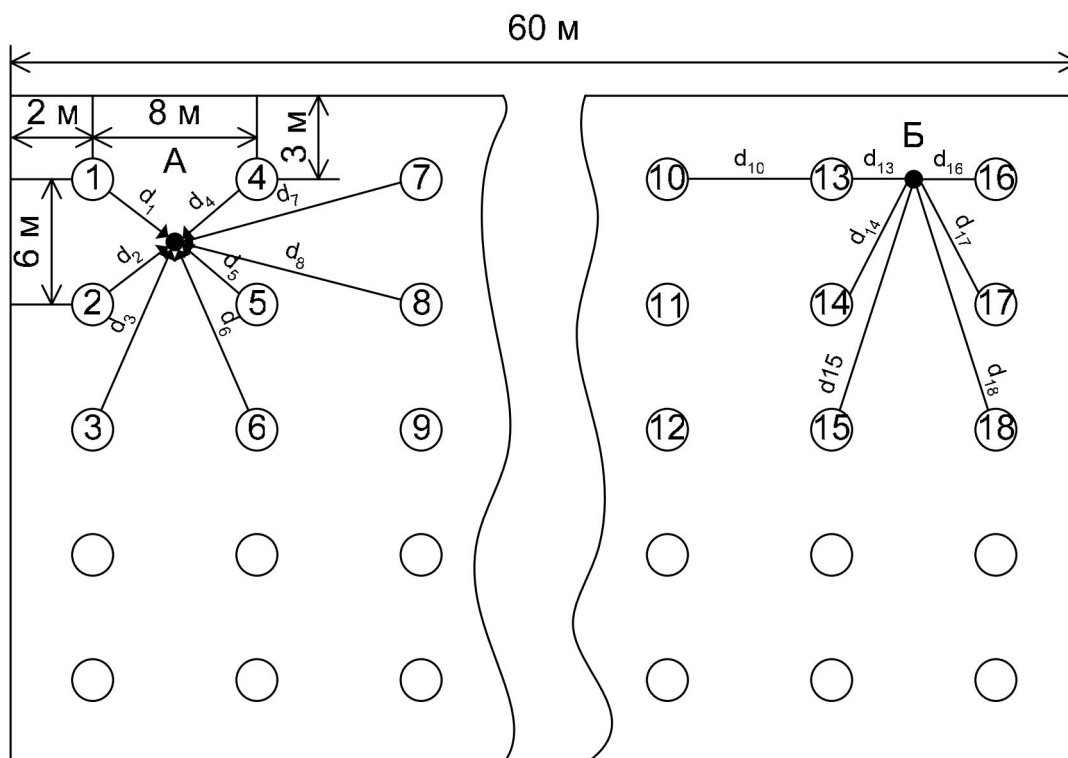


Рис. 4. Схема расположения светильников примеров 2 и 5

1.3.4. Расчет точечным методом с использованием аналитического выражения КСС

Расчет горизонтальной освещенности точечным методом с использованием пространственных изолюкс не отличается высокой точностью из-за интерполяции значений относительной освещенности. Более точные результаты можно получить при расчете точечным методом с использованием аналитического выражения КСС из табл. ПЗ.2 для заданного (выбранного) типа светильника с известным светораспределением.

Пример 6. Выполнить проверку светотехнического расчета примера 5 точечным методом с использованием аналитического выражения КСС светильника РСП 05. Схема расположения светильников показана на рис. 4. Координаты контрольных точек и расстояния d_i взять по примеру 5.

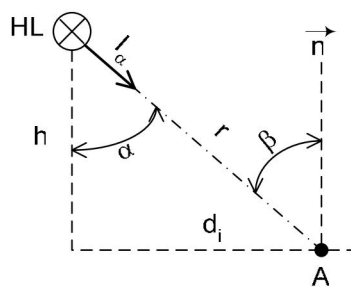
Решение. В соответствии с данными завода-изготовителя по табл. ПЗ.1 определяем, что светильник РСП 05 имеет КСС типа Г, аналитическое выражение которой в соответствии с табл. ПЗ.2 имеет вид

$$I_{\alpha} = I_0 \cos(n\alpha),$$

где $n = 1,64$; $I_0 = 800$ кд. Если $\alpha \geq \frac{90^\circ}{n}$, то значение $I_{\alpha} = 0$.

Освещенность в контрольной точке в соответствии с основным законом светотехники определяется по формуле

$$E_A = \frac{I_\alpha \cos \beta}{r^2},$$



где r – расстояние по прямой между источником излучения и контрольной точкой, м; β – угол между направлением силы света I_α и нормалью к поверхности.

При освещении горизонтальной плоскости взаимосвязь между указанными величинами можно установить по рис. 5.

Для горизонтальной плоскости из рис. 5 следует

$$\alpha = \beta = \arctg \frac{d_i}{h}; \quad r = \sqrt{h^2 + d_i^2}; \quad r = \frac{h}{\cos \alpha}.$$

Тогда

$$E_A = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{I_\alpha \cos^3 (\arctg \frac{d_i}{h})}{h^2}$$

Поскольку КСС светильника РСП 05 нормирована к световому потоку в 1000 лм, то выражение для относительной освещенности e_A в конкретном случае с учетом выражения для E_A и значений $I = 800$ лм, и $n = 1,65$ принимает вид

$$e_A = \frac{800 \cdot \cos(1,65 \cdot \alpha) \cos^3 \alpha}{h^2}.$$

Результаты расчета относительных освещенностей e_A и e_B в контрольных точках рис. 4 с учетом данных табл. 6 и ограничения на угол $\alpha < \frac{90^\circ}{n}$ приведены в табл. 7.

Таблица 7

Точка	Номера светильников	d_i , м	r_i , м	α , град.	e , лк	$n'e$, лк	Σe , лк
А	1,2,3,4	5,0	9,434	32	4,609	18,437	19,096
	3,6	9,84	12,68	50,89	0,329	0,659	
	7,8	12,36	14,72	57,087	0	0	
Б	13,16	4,0	8,94	26,565	6,452	12,904	16,536
	14,17	7,2	10,76	41,987	1,816	3,632	
	15,18	12,6	14,92	57,6	0	0	
	10	14,42	14,42	56,3	0	0	

В табл. 7 учтено, что при $\alpha \geq \frac{90^\circ}{1,65} = 54,54^\circ$ значение $I_0 = 0$, следова-

тельно, и относительная освещенность равна нулю.

Как и в примере 5 освещенность в точке Б меньше, чем в точке А, и именно в точке Б необходимо определить фактическую освещенность. Принимая за номинальный поток лампы примера 5 при $\mu = 1,1$ и $K_3 = 1,5$, получим

$$E = \frac{\Phi_H \mu \Sigma \varepsilon}{1000 \cdot K_3} = \frac{32000 \cdot 1,1 \cdot 16,536}{1000 \cdot 1,5} = 388 \text{ лк.}$$

Таким образом, фактическая освещенность отличается от нормированной $E_H = 300$ лк на +29,34 % против +7,16 % примера 5, что подчеркивает преимущество точечного метода расчета с использованием аналитического выражения КСС над методом расчета по условным изолуксам и методом коэффициента использования.

1.3.5. Расчет освещенности на горизонтальной плоскости от светящей линии (рядов люминесцентных ламп)

С учетом многих излучателей светящей линии рабочая формула для расчета линейной плотности светового потока Φ' имеет вид

$$\Phi' = \frac{1000 E_H K_3 h}{\mu \Sigma \varepsilon} \text{ или } E = \frac{\Phi' \mu \Sigma \varepsilon}{1000 K_3 h}.$$

Относительная освещенность в контрольной точке определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{I_\gamma}{2(p'^2 + 1)} \cdot \left[\frac{L' \sqrt{p'^2 + 1}}{L'^2 + p'^2 + 1} + \arctg \frac{L'}{\sqrt{1 + p'^2}} \right] = I_\gamma f(p', L').$$

На основании расчетного значения линейной плотности потока Φ' , полученного по рабочей формуле, производится компоновка светящей линии. При этом возможны два варианта.

1. По известным значениям Φ' и $L_{\text{св}}$ компоновка светящей линии проводится по методике п. 1.2.5.

2. Для достаточно длинных светящих линий определяют $l_{\text{св}} + \lambda = \frac{\Phi}{\Phi'}$ и, придавая различные значения Φ , выбирают подходящий вариант. При этом под $l_{\text{св}}$ понимают длину светильника.

Пример 7. Выполнить проверку светотехнического расчета примера 3 точечным методом. Схема расположения светящих линий показана на рис. 6.

Решение. Контрольную точку А выбираем на расстоянии 10 метров от короткой стены посередине между крайними рядами. В этом случае относительная освещенность определяется от $2n$ полурядов ($n = 4$ в примере 3).

28



ной высоты $h = 4,7$ м (по данным примера 6) приведены в табл. 8. Здесь же приведены значения относительной освещенности, найденные по линейным изолюксам [8, рис. 6 – 38]. Результаты расчета с учетом равноудалённых светящих линий приведены в табл. 8.

Таблица 8

Принимая значение $\mu = 1,1$, определяем линейную плотность потока одного ряда светильников как сплошной светящей линии:

$$\Phi' = \frac{1000 E_H K_3 h}{\mu \Sigma \varepsilon} = \frac{1000 \cdot 300 \cdot 1,5 \cdot 4,7}{1,1 \cdot 411,2} = 4675,89 \text{ ЛМ/М.}$$

Фактическая плотность светового потока ряда из 20 светильников типа ЛСП 02 с лампами ЛБ-80 (световой поток 5200×2 , лм)

$$\Phi'_{\text{факт}} = \frac{2\Phi_{\text{л}} N_{\text{с.л}}}{L_{\text{св}}} = \frac{2 \cdot 5200 \cdot 20}{48} = 4333,3 \text{ лм/м.}$$

С учетом полученных результатов фактическая освещенность в контрольной точке

$$E_{\text{факт}} = E_{\text{н}} \frac{\Phi'_{\text{факт}}}{\Phi'} = 300 \frac{4333,3}{4675,89} = 278,02 \text{ лк, что на 6,9 \% меньше нор-}$$

мируемой освещенности $E_{\text{н}}$ (допускается отклонение в пределах от -10% до $+20 \%$), что вполне приемлемо.

1.3.6. Расчет освещенности от светящей линии с использованием аналитического выражения КСС

При расчете освещенности от реальных светильников делается допущение, что в продольных плоскостях светораспределение является косинусным, а в поперечной плоскости задается паспортной кривой $I_{\alpha} = f(\alpha)$. В этом случае для горизонтальной плоскости формула для расчета относительной освещенности будет иметь вид

$$\varepsilon = \frac{I_2 h^2}{2(h^2 + p^2)} \left[\frac{L_{\text{св}} \sqrt{h^2 + p^2}}{L_{\text{св}}^2 + h^2 + p^2} + \arctg \frac{L_{\text{св}}}{\sqrt{h^2 + p^2}} \right],$$

где все переменные, входящие в формулу, имеют смысл, изложенный в пункте 1.3.5.

Линейная плотность потока Φ' определяется по известной расчетной формуле

$$\Phi' = \frac{1000 E_{\text{н}} K_3 h}{\mu \Sigma \varepsilon}.$$

Пример 8. Выполнить проверку светотехнического расчета примеров 3 и 7 точечным методом с использованием аналитического выражения КСС.

Решение. Согласно табл. ПЗ.1 светильник ЛСП 02 характеризуется кривой силы света типа Д, а аналитическое выражение КСС по табл. ПЗ.1 имеет вид

$$I_{\alpha} = I_0 \cos n\alpha \text{ или } I_{\alpha} = 330 \cdot \cos n\alpha, \text{ кд,}$$

где $\alpha = \arctg \frac{p_i}{h}; n = 1$.

С учетом данных примера 7 (при значении расчетной высоты $h = 4,7$ м) расчетные значения относительной освещенности приведены в табл. 9.

Таблица 9

Обозначение полуяра	P_i , м	$L_{свi}$, м	α , град.	I_{α} , кд	ε , лк	$\Sigma\varepsilon$, лк
1 и 2	3,25	10	34,66	271,438	$2 \times 136,11$	606,936
3	9,75	10	64,26	143,315	16,812	
4	16,25	10	73,868	91,679	3,439	
5 и 6	3,25	38	34,66	271,438	$2 \times 144,02$	
7	9,75	38	64,26	143,315	21,034	
8	16,25	38	72,868	91,679	5,39	

Значение линейной плотности светового потока при $\mu = 1,1$ составит:

$$\Phi' = \frac{1000 E_H K_3 h}{\mu \Sigma \varepsilon} = \frac{1000 \cdot 300 \cdot 1,5 \cdot 4,7}{1,1 \cdot 606,936} = 3167,924, \text{ лм/м.}$$

Фактическая плотность потока ряда из 20 светильников типа ЛСП 02 с лампами ЛБ-80 (световой поток 5200×2 , лм)

$$\Phi'_{\text{факт}} = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot 2 \cdot N_{\text{с.л.}}}{L_{\text{св}}} = \frac{5200 \cdot 2 \cdot 20}{48} = 4333,33, \text{ лм/м.}$$

Фактическая освещенность в контрольной точке

$$E_{\text{факт}} = E_H \frac{\Phi'_{\text{факт}}}{\Phi'} = 300 \frac{4333,33}{3167,924} = 410,363, \text{ лк,}$$

что на 26,894 % больше нормированной освещенности E_H и на 31,989 % больше расчетной фактической освещенности примера 6.

Значительное различие результатов расчета примеров 7 и 8 объясняется большой погрешностью при считывании результатов с графиков пространственных изолукс, поэтому при использовании круглосимметричных светильников целесообразно использовать в расчетных выражениях аналитические выражения КСС.

1.3.7. Учет отраженной составляющей освещенности

При высоких значениях коэффициентов отражения потолка, стен, пола, а также в тех случаях, когда светильники не относятся к классу прямого света, при точечном методе расчета необходимо учитывать отраженную составляющую освещенности. В данном случае более целесообразно воспользоваться известными приближенными решениями.

При равномерном освещении или при небольшой степени локализации отражающую составляющую можно считать равномерно распределенной по площади помещения, и при расчете осветительной установки на нормируемую освещенность с учетом отраженной составляющей формула для расчета последней имеет вид

$$E_0 = \frac{N\Phi(\eta_p - \eta_r)}{SK_3},$$

где N – число светильников; $\Phi = \Phi_{\text{л}}\eta_{\text{св}}$ – световой поток источника света с учетом КПД светильника $\eta_{\text{св}}$; $\Phi_{\text{л}}$ – суммарный световой поток ламп светильника; η_p – коэффициент использования светильника при заданных значениях коэффициентов отражения потолка, стен, расчетной поверхности или пола $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{с}}$, $\rho_{\text{р}}$; η_r – коэффициент использования черного помещения (при $\rho_{\text{п}} = \rho_{\text{с}} = \rho_{\text{р}} = 0$ по табл. П4.4); S – площадь помещения, м^2 ; K_3 – коэффициент запаса.

В случае сильно выраженной локализации освещения можно считать, что прямая и отраженная составляющие освещенности распределены с одинаковой степенью неравномерности. В этом случае суммарная освещенность в контрольной точке умножается на коэффициент неравномерности $\chi = \frac{\eta_p}{\eta_r}$.

$$\text{Тогда суммарная освещенность } E = \sum_{i=1}^N E_i \chi.$$

Пример 9. По данным примеров 4 и 5 определить отраженную составляющую освещенности E_0 .

Решение. По данным табл. П4.5 коэффициент использования светильника РСП 05 при $\rho_{\text{п}} = 0,7$; $\rho_{\text{с}} = 0,5$; $\rho_{\text{р}} = 0,1$ равен $\eta_p = 0,93$.

Коэффициент использования черного помещения при $\rho_{\text{п}} = \rho_{\text{с}} = \rho_{\text{р}} = 0$, индексе помещения $i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{60 \cdot 30}{8(60+30)} = 2,5$ и КСС типа Г в соответствии с табл. П4.5 (для кривой типа Г) равен $\eta_r = 0,85$. Тогда при $N = 40$; $\Phi_{\text{л}} = 32000$ лм; $K_3 = 1,5$; $\eta_{\text{св}} = 0,8$; $S = 30 \cdot 60 = 1800$ м^2 , отраженная составляющая освещенности

$$E_0 = \frac{N\Phi(\eta_p - \eta_r)}{SK_3} = \frac{N\Phi_{\text{л}}\eta_{\text{св}}(\eta_p - \eta_r)}{SK_3} = \frac{40 \cdot 32000(0,93 - 0,85) \cdot 0,8}{1800 \cdot 1,5} = 24,272 \text{ лк.}$$

Расчетное значение отраженной горизонтальной составляющей освещенности $E_0 = 24,272$ лк составляет 7,549 % от расчетного значения прямой составляющей освещенности $E = 321,493$ лк примера 5.

2. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТА ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

2.1. Задачи проектирования

При проектировании электрической части осветительных установок (ОУ) рассматриваются и решаются следующие основные вопросы:

- выявление электрических нагрузок ОУ;
- уровни и постоянство напряжения в осветительных сетях;
- источники и схемы питания;
- надежность и бесперебойность электроснабжения;
- способы управления освещением;
- расчет, защита и выполнение осветительных систем;
- электробезопасность при эксплуатации осветительных установок;
- электрооборудование, используемое в ОУ.

2.2. Расчетные осветительные нагрузки

Для выявления мощности трансформаторов, питающих электрическое освещение промышленных предприятий, а также для расчета отдельных звеньев осветительных сетей и выбора параметров электрооборудования требуется определять расчетные осветительные нагрузки. Они, как правило, подсчитываются, исходя из суммарной установленной мощности, полученной в результате светотехнического расчета или фактически имеющейся в данной ОУ.

Установленная мощность определяется суммированием мощности источников света стационарных ОП напряжением 42 В и выше, а также номинальной мощности стационарных понижающих трансформаторов с вторичным напряжением 12÷42 В. В ОУ с газоразрядными лампами в установленную мощность включают потери мощности в ПРА.

В случае необходимости установленную мощность можно определить без светотехнического расчета по средним значениям удельной мощности освещения (Вт/м^2), выявленным ранее для аналогичных объектов, и размерам освещаемой площади.

Расчетная нагрузка определяется умножением установленной мощности на коэффициент спроса K_c , равный отношению расчетной длительной нагрузки (30-минутный максимум) к установленной мощности. Значение K_c для групповой сети рабочего освещения производственных и общественных зданий, а также наружного освещения (НО) промышленных предприятий принимают равным единице ($K_c = 1,0$). Для производственных зданий значения K_c :

1,0 — для мелких производственных зданий и линий, питающих отдельные групповые щитки;

0,95 – для зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов;
0,85 – для зданий, состоящих из многих отдельных помещений;
0,8 – для административно-бытовых и лабораторных зданий промышленных предприятий;

0,6 – для складских зданий, состоящих из многих отдельных помещений, электрических подстанций.

Отметим, что на большинстве промышленных предприятий осветительная нагрузка колеблется в пределах 8÷20 % общей по предприятию. В общественных зданиях в зависимости от их назначения и степени оснащения инженерными системами осветительная нагрузка составляет 40 ÷ 60 % общей, а в отдельных случаях достигает до 80 %.

С учетом изложенного выше можно записать выражение для определения расчетной нагрузки:

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{уст}} K_c K_{\text{ПРА}} ,$$

где $K_{\text{ПРА}}$ – коэффициент, учитывающий потери мощности в ПРА, значения которого выбирают из условий: 1,1 – для ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ; 1,2 – для ЛЛ в стартерных схемах включения; 1,3÷1,35 – для ЛЛ в бесстартерных схемах включения.

2.3. Напряжение осветительных сетей и его уровни

Для питания осветительных приборов общего освещения должно применяться напряжение не выше 380/220 В переменного тока при заземленной нейтрали и не выше 220 В переменного тока при изолированной нейтрали, и при постоянном токе. Для питания отдельных ламп следует применять, как правило, напряжение не выше 220 В. Указанные выше напряжения допускаются для всех стационарных ОП в помещениях без повышенной опасности независимо от высоты их установки. Разрешается использовать напряжение 380 В, в том числе фазное напряжение системы 660/380 В, для питания ламп, рассчитанных на это напряжение (металлогалогенных, натриевых высокого давления, типа ДКсТ и др.) при соблюдении следующих условий.

1. При вводе в ОП и ПРА медным проводом или кабелем на напряжение ≥ 660 В.

2. При одновременном отключении всех фазных проводов.

3. При нанесении на ОП для помещений с повышенной опасностью и особо опасных хорошо различимых отличительных знаков с указанием применяемого напряжения («380 В»).

4. Ввод в ОП двух или трех проводов разных фаз системы 660/380 В запрещается.

5. Для питания ламп накаливания ОП местного освещения должны применяться напряжения:

- а) 220 В и меньше в помещениях без повышенной опасности;
- б) не выше 42 В в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных;
- в) 127 – 220 В допускается применять для питания ОП с люминесцентными лампами местного стационарного освещения.

Напряжение в ОУ всех назначений с любыми видами ламп должны быть не ниже 95 % и не выше 105 % их номинального значения. Для обеспечения надежной работы газоразрядных ламп напряжение на них даже в аварийном режиме не должно быть ниже 90 % номинального.

2.4. Схема питания ОУ различного назначения

Сети внутреннего освещения (ВО) разделяются на питающие и групповые. К питающим сетям относятся линии от трансформаторных подстанций или других точек питания до групповых щитков; к групповой сети – линии от групповых щитков до ОП и штепсельных розеток. Сети наружного освещения (НО) по функциональному назначению делятся на питающие и распределительные. По определению распределительная сеть – это электрическая сеть питающая ОП наружного освещения.

Схемы питания ВО и НО должны обеспечивать:

- необходимую степень надежности питания;
- безопасность в отношении пожара, взрыва, поражения электрическим током;
- использование монтажных изделий заводского изготовления, возможность предварительной заготовки элементов сети на заводах;
- экономию стальных и полиэтиленовых труб, меди, свинца;
- регламентированные уровни и постоянство напряжения;
- простоту и удобство эксплуатации;
- требования к управлению освещением;
- экономичность осветительной установки;
- требования эстетики и в ряде случаев гигиены.

Питающие сети для ОУ и силового электрооборудования рекомендуется выполнять, как правило, отдельными. В начале каждой питающей линии устанавливаются аппараты защиты и отключения. В начале групповой линии обязателен аппарат защиты на всех фазных проводниках (предохранитель или автоматический выключатель), а отключающий аппарат можно не устанавливать при наличии таких аппаратов по длине линии или когда управление освещением осуществляется аппаратами, установленными в линиях питающей сети. Линии питающей сети рабочего освещения,

освещения безопасности и эвакуационного освещения должны иметь в распределительных устройствах, от которых эти линии отходят, самостоятельные аппараты защиты и управления для каждой линии. Допускается устанавливать общий аппарат управления для нескольких линий одного вида освещения или установок, отходящих от распределительного устройства [13].

При питании внутреннего освещения от встроенных и пристроенных ТП или КТП вблизи них устанавливаются магистральные щитки с автоматическими выключателями, от которых питаются групповые щитки. Причем, если одной линией питается четыре и более групповых щитков, на вводе в каждый щиток рекомендуется устанавливать отключающий аппарат.

Питающие линии могут выполняться радиальными, радиально-магистральными или магистральными. Характерные схемы питания осветительных установок рассмотрены в [2] § 9.5.2. и [8] § 10.2 и приведены в прил. 6.

2.5. Выбор типа и расположение магистральных и групповых щитков, компоновка сети и ее выполнение

Магистральный распределительный пункт (щиток) располагается в начале питающей линии и, как правило, вблизи встроенной или пристроенной трансформаторной подстанции (ТП) и комплектуется трехполюсными автоматическими выключателями. Номенклатура распределительных пунктов приведена в табл. 10. Групповые щитки, расположенные на стыке питающих и групповых линий, предназначены для установки аппаратов защиты и управления электрическими осветительными сетями. При выборе типов щитков учитываются условия среды в помещении, способы установки в них аппаратов, коммутируемые осветительные нагрузки, токи и т. д. Информация по выбору щитков приведена в табл. 10 [8, § 11.4]. Располагать щитки следует, по возможности, ближе к центру нагрузки, в местах удобных для обслуживания. При выборе мест расположения щитков учитываются рекомендации ПУЭ [13; 8, § 10.3].

Таблица 10

Пункты распределительные и щиты освещения

№ п/п	Наименование	Тип и количество выключателей			Завод-изготовитель	Примечание
		3-полюсных	2-полюсных	1-полюсных		
1	ПР 8503-1001	ВА630/2х100; 50; 20; 16А	-	-	ООО «ЭЛЕКТРА» г. Москва	6800 р.
2	ПР 8503-1005	ВА320/3х200; 1х60А	-	-		16820 р.

Окончание табл. 10

№ п/п	Наименование	Тип и количество выключателей			Завод-изготовитель	Примечание
		3-полосных	2-полосных	1-полосных		
3	ПР 8503-1011	BA57-31/1x31.5; 3x40; 1x50; 1x63A	-	-	ООО «ЭЛЕКТРА» г. Москва	8980 р.
4	ПР 8503-1015	BA57Ф35/1x25; 1x50; 1x63, 1x125A	-	-		11980 р.
5	ПР 8503-1051	BA400/2x80; 2x63; 2x25; 6x80A	-	-		11986 р.
6	ПР 8503-1052	BA630/2x100; 2x80; 4x63 (8x100)A	-	-		12894 р.
7	ПР 8503-1053	BA400/2x100; 2x63; 3x25; 3x10A	-	-		12946 р.
8	ПР 8503-1058	BA630/2x250; 2x160; 2x100A	-	-		22685 р.
9	ПР 8503-1161	BA250/1x100; 1x80; 2x40; 4x16A	-	-		9161 р.
10	ОЩВ-6	-	-	63A+6x16A (25A)		900 р.
11	ОЩВ-6	Ввод-авт. 3ф	-	100A+6x16A (25A)		1250 р.
12	ОЩВ-6	Ввод-выкл.нагр. 3ф	-	100A+6x16A (25A)		1250 р.
13	ОЩВ-12	-	-	63A+12x16A (25A)		1250 р.
14	ОЩВ-12	Ввод-авт. 3ф	-	100A+12x16 A (25A)		1580 р.
15	ОЩВ-12	Ввод-ВН 3ф вык. нагр.		100A+12x16 A (25A)		1300 р.
16	УОЩВ 1-6	-	-	1-6 63A; 6x16A (25A)		1100 р.
17	УОЩВ 1-9			1-9 63A; 9x16A (25A)		1280 р.
18	УОЩВ 1-12			1-12 12x16A (без. ав.)		1120 р.
19	УОЩВ 1-12			1-12 16x25A		1120 р.
20	ЩРН(В)-2	Возможность установки от 12 до 48 модулей (комплектуются DIN-рейкой)			ДЭК, г. Москва	Н-навесной, В-встроенный

Осветительные сети должны быть выполнены в соответствии с требованиями ПУЭ [13, главы 2.1 – 2.4; 6.2 – 6.4 и 7.1 – 7.4]. В зависимости от характеристики помещения и условий окружающей среды выполнение электрических осветительных сетей возможно проводами с медными или алюминиевыми жилами, кабелями, как правило, с алюминиевыми жилами и осветительными шинопроводами (ШОС). Токопроводы с медными жилами применяются ограниченно, например, для взрывоопасных помещений классов В-I и В-Ia. Сортамент линий и технические данные проводов и кабелей приведены в [8, табл. 11.1 – 11.5] и [15]. Из существующего сортамента шинопроводов в ОУ наиболее широко используются:

- в питающих сетях – шинопроводы ШРА-73 на токи 250, 400 и 630 А;
- в групповых сетях – шинопроводы ШОС-67 на ток 25 А и шинопроводы ШОС-73 на ток 63 А (при алюминиевых шинах) или 100 А (при медных шинах).

В сетях внутреннего освещения наиболее часто используются следующие марки проводов и кабелей:

- изолированные провода АПВ, ПВ-1 (универсальное использование);
- АППВ, ППВ – скрытая несменяемая проводка;
- АПРТО, ПРТО с резиновой изоляцией – прокладка в трубах;
- тросовые провода: АВТ, АВТУ, АВТВ, АВТВУ с ПВХ изоляцией, содержащие в своей конструкции несущий трос;
- кабели АВВГ, ВВГ с изоляцией и оболочкой из ПВХ;
- кабели АВРГ и ВРГ с оболочкой из ПВХ и резиновой изоляцией;
- кабели АНРГ и НРГ с резиновой изоляцией и резиновой (наиритовой) оболочкой;
- провода ПСУ-155 и ПСУ-180 нагревостойкие с медной жилой;
- провода ПРКА для зарядки осветительных приборов.

Выбор типа проводки (открытая, скрытая, сменяемая и т.п.) производится на основании рекомендаций [2, § 9.7] и [13]. Однако необходимо отметить, что электропроводки осветительных сетей промышленных предприятий выполняются открытыми, а административных и жилых зданий – скрытыми и, по возможности, сменяемыми.

2.6. Выбор сечений проводников по механической прочности

Сечения проводников осветительной сети должны обеспечить:

- достаточную механическую прочность сети ([8], § 12.2), [13];

- прохождение тока нагрузки без перегрева сверх допустимых температур ([8], § 12.3), [13];
- необходимые уровни напряжения источников света ([8], §12.4), [13];
- срабатывания защитных аппаратов при коротких замыканиях ([8], § 12.7), [13].

При выборе проводников осветительной сети по механической прочности достаточно выполнить все требования ПУЭ [13] по минимальному сечению проводников и расстоянию между точками их крепления. Наименьшие допустимые сечения проводников по механической прочности указаны в [8, табл. 12.1] и [13]. При тросовых проводках в зависимости от нагрузки стальные тросы следует принимать диаметром 1,95÷6,5 мм, катанку – диаметром 5,5÷8 мм.

2.7. Выбор сечений проводников по нагреву

Нагрев проводников вызывается прохождением по ним тока I , величина которого определяется по формулам:

- для трехфазной сети с нулем и без нуля при равномерной нагрузке фаз

$$I = \frac{P_3}{\sqrt{3}U_{\text{л}} \cdot \cos\varphi}, \text{ А};$$

- для двухфазной сети с нулем при равномерной нагрузке фаз

$$I = \frac{P_2}{2U_{\text{ф}} \cdot \cos\varphi}, \text{ А};$$

- для двухпроводной сети $I = \frac{P_1}{U_{\text{н}} \cdot \cos\varphi}, \text{ А};$

- для каждой из фаз двух- или трехпроводной сети с нулем при любой, в том числе и неравномерной нагрузке:

$$I = \frac{P_1}{U_{\text{ф}} \cdot \cos\varphi}, \text{ А},$$

где P_i – активная расчетная мощность одной, двух или трех фаз; $\cos\varphi$ – коэффициент мощности нагрузки; $U_{\text{л}}$, $U_{\text{ф}}$, $U_{\text{н}}$ – соответственно линейное, фазное и номинальные напряжения сети.

При равномерной нагрузке фаз ток в нулевом проводе трехфазных сетей, питающих лампы накаливания, равен нулю, ток же сетей, питающих газоразрядные лампы, может достигать величины фазного тока.

Нелинейность ПРА и вольтамперных характеристик газоразрядных ламп ведет к искажению синусоидальной формулы тока и появлению высших гармоник, причем последние, в основном третья, приводят к наличию тока в нулевых рабочих проводах трехфазных линий. Стандарты ограничивают величину тока в нулевом проводе трехфазных линий на уровне фазного при компенсированных ПРА и половины фазного тока – при индуктивных ПРА.

В двухфазных трехпроводных сетях при равномерной нагрузке фаз ток в нулевом проводе равен фазному току при питании ламп накаливания, однако, может быть несколько больше фазного тока при питании газоразрядных ламп.

При неравномерной нагрузке фаз линейные токи будут неодинаковы, и при небольшой неравномерности выбор сечения проводов следует вести как для линии с равномерной нагрузкой фаз, приняв в качестве расчетной утроенную нагрузку наиболее загруженной фазы. При существенной неравномерности нагрузки (например при мощных ксеноновых светильниках) необходимо определить токи и сечения проводников отдельно для каждой фазы. Для трехфазных линий с включением нагрузок на линейное напряжение линейные токи I_a , I_b , I_c зависят от порядка следования фаз ($A - B - C$ или $C - B - A$).

При прямом порядке следования фаз

$$\begin{aligned} I_A &= \sqrt{I_{ab}^2 + I_{ca}^2 + 2I_{ab}I_{ca} \cdot \sin(\varphi_{ab} - \varphi_{ca} + 30^\circ)}; \\ I_B &= \sqrt{I_{bc}^2 + I_{ab}^2 + 2I_{bc}I_{ab} \cdot \sin(\varphi_{bc} - \varphi_{ab} + 30^\circ)}; \\ I_C &= \sqrt{I_{ca}^2 + I_{bc}^2 + 2I_{ca}I_{bc} \cdot \sin(\varphi_{ca} - \varphi_{bc} + 30^\circ)}. \end{aligned}$$

При обратном порядке следования фаз в каждой из формул необходимо поменять местами индексы углов (ab и ca , bc и cb , bc и ca). Так как порядок следования фаз при проектировании неизвестен и может меняться в процессе эксплуатации, необходимо определять линейные токи для обоих вариантов следования фаз.

Ток нагрузки, протекая по проводнику, нагревает его. Нормами установлены наибольшие допустимые температуры нагрева жил проводов, и исходя из этого, определены длительно допустимые токовые нагрузки для проводов и кабелей в зависимости от материала их изоляции и оболочки, и условий прокладки [13]. Значения токов приняты для температуры окружающего воздуха $+25^\circ\text{C}$ и земли $+15^\circ\text{C}$. В случае, если предусматривается длительная эксплуатация провода в среде с температурой, отличной от

нормативной, допустимая токовая нагрузка (в амперах) определяется по формуле

$$I = I_n \sqrt{\tau_{\phi} / \tau_n},$$

где I_n – нормативная токовая нагрузка, А, [13]; τ_{ϕ} и τ_n – допустимое превышение температуры провода соответственно над фактической и нормативной температурой среды, °С.

Расчет значения тока в линиях проводится по формуле: $I = P_p K_T$, где P_p – расчетная нагрузка, кВт; $K_T = f(U, \cos \varphi)$ – коэффициент, значения которого приведены в табл. 12.

2.8. Расчет осветительной сети по потере напряжения

Величина располагаемых потерь напряжения в сети [8] определяется по формуле

$$\Delta U_d = U_{xx} - U_{\min} - \Delta U_T, \%,$$

где ΔU_d – располагаемая потеря напряжения в сети;

U_{xx} – номинальное напряжение при холостом ходе трансформатора (105 %);

U_{\min} – допускаемое напряжение у наиболее удаленных ламп (см. [8], § 10.1);

ΔU_T – потеря напряжения в трансформаторе, приведенная ко вторичному напряжению (см. табл. 13).

Отметим, что значение напряжений U_{xx} , U_{\min} , ΔU_T указываются в процентах.

Допустимые потери напряжения в осветительной сети ΔU , % в зависимости от мощности трансформатора S_n , коэффициента его загрузки β и $\cos \varphi$ нагрузки см. в [8], табл. 12.6. Эти потери рассчитаны для U_{\min} равного 97,5 %, и при иных значениях должны быть соответственно изменены.

Потеря напряжения ΔU_T зависит от мощности трансформатора, его нагрузки, коэффициента мощности питаемых электроприемников и определяется с достаточным приближением по формуле

$$\Delta U_T = \beta (U_{a.T} \cdot \cos \varphi + U_{p.T} \cdot \sin \varphi),$$

где $U_{a.T}$ и $U_{p.T}$ – активная и реактивная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора, определяемого по формулам

$$U_{a.T} = \frac{P_k}{P_n} 100 \% \text{ и } U_{p.T} = \sqrt{U_k^2 \% - U_{a.T}^2 \%},$$

где P_k – потери короткого замыкания, кВт; P_n – номинальная мощность трансформатора, кВ·А; U_k – напряжение короткого замыкания, %.

В общем случае потеря напряжения в сети определяется по формулам:

- в сетях без индуктивности $\Delta U = IR$;
- в сетях с индуктивностью $\Delta U = I(R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi)$,

где I – расчетный ток линии, А; R и X – активное и реактивное сопротивление линии, Ом; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки; φ – угол сдвига между векторами тока и напряжения.

Если выразить ΔU в процентах от номинального напряжения U_n , а ток нагрузки через мощность (кВт), то получим расчетные формулы потери напряжения в осветительной сети через момент нагрузки:

- для двухпроводной сети (однофазной, двухфазной без нуля или постоянного тока)

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 10^{11}}{\gamma S U_n^2} M ;$$

- для четырехпроводной трехфазной с нулем и трехфазной трехпроводной без нуля в сети

$$\Delta U = \frac{10^{11}}{\gamma S U_n^2} M ;$$

- для трехпроводной двухфазной с нулем в сети

$$\Delta U = \frac{2,25 \cdot 10^{11}}{\gamma S U_n^2} M ,$$

где γ – удельная проводимость проводника, См/м; S – сечение проводника, мм²; U_n – номинальное напряжение сети (для трех- и двухфазных сетей – линейное напряжение), В; M – момент нагрузки, равный произведению мощности нагрузки, кВт, на длину линии, l , м, и определяемый по схемам рис. 7.

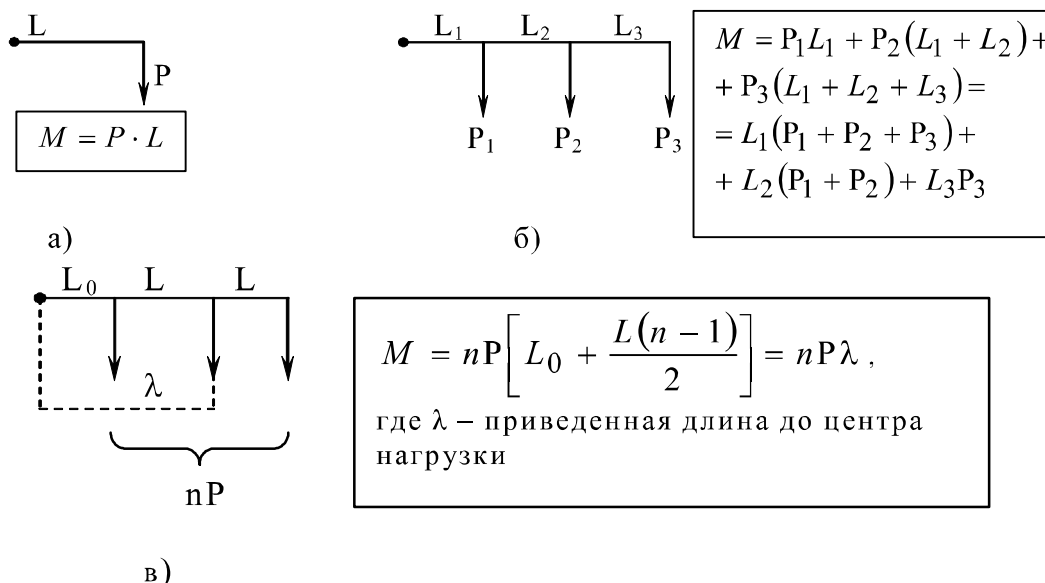


Рис. 7. Иллюстрации к определению моментов нагрузки

При заданных номинальном напряжении сети и материале проводника

$$\Delta U = \frac{M}{CS} \text{ и } S = \frac{M}{C\lambda U},$$

где C – коэффициент, зависящий от напряжения и материала проводника (табл. 12).

Потери напряжения на всех участках сети (от шин низшего напряжения трансформатора до самого удаленного светильника) суммируются и сравниваются с величиной допустимой потери напряжения $\Delta U_{\text{доп}}$. В табл. 11 приведены значения ΔU_T для коэффициента загрузки $\beta = 1$. Для определения истинной величины ΔU_T его значение, найденное по табл. 11, следует умножить на фактическое значение коэффициента загрузки β .

Таблица 11

Потери напряжения в трансформаторах

Мощность трансформатора, кВ·А	Потеря напряжения ΔU_T , %, при коэффициенте мощности нагрузки, равном					
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
160	1,7	3,3	3,8	4,1	4,3	4,4
250	1,5	3,2	3,7	4,1	4,3	4,4
400	1,4	3,1	3,7	4,0	4,2	4,4
630	1,2	3,4	4,1	4,6	4,9	5,2
1000	1,1	3,3	4,1	4,6	5,0	5,2
1600 – 2500	1,0	3,3	4,1	4,5	4,9	5,2

Пример 10. Определить допустимую потерю напряжения в групповой линии, если осветительная установка питается от подстанции, на которой установлен трансформатор мощностью $S_T = 1000$ кВ·А, коэффициент загрузки $\beta = 0,7$; питающая 3-фазная 4-проводная линия имеет длину 30 м; активная мощность нагрузки $P = 80$ кВт; $\cos \varphi_{\text{нагр}} = 0,95$; напряжение питающей сети $U = 380/220$ В.

Решение. Расчетное значение тока в питающей линии

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi} = \frac{80}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 128,09 \text{ А}.$$

Исходя из условия, что длительно допустимый ток через проводник $I_{\text{д.д}}$ должен превышать расчетное значение тока, т.е. $I_{\text{д.д}} \geq I$, принимаем по табл. 12.2 [8] или таблицам [13] ближайшее значение тока $I = 140$ А к расчетному $I = 128,09$ А для четырехжильного кабеля АПВ-4 (1×70) с прокладкой в стальных трубах.

1. Определяем момент нагрузки в питающей линии

$$M = Pl = 80 \cdot 30 = 2400 \text{ кВт·м}.$$

2. По известному сечению питающей линии и моменту нагрузки по табл. 12.11 [8] определим допустимую потерю напряжения в питающей линии: $\Delta U_{\text{пит}} = 0,8 \%$.

3. По заданным значениям $S_T = 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$, $\cos \varphi_{\text{нагр}} = 0,95$ и $\beta = 0,7$, по табл. 12.6 [8] определяем полную допустимую потерю напряжения от шин подстанции до самого удаленного светильника: $\Delta U_{\text{доп}} = 5,5 \%$.

4. Определяем допустимую потерю напряжения в групповой линии:
 $\Delta U_{\text{гр}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{\text{пит}} = 5,5 - 0,8 = 4,7 \%$, что согласуется с результатами пунктов 2 и 3.

Таблица 12

Значения коэффициентов K_T и C

Напряжение питающей сети	Система сети, род тока	Коэффициенты K_T				Коэффициент C проводов	
		для ЛН	для ГЛ при $\cos \varphi$ комплекта Лампа – ПРА			медных	алюминиевых
			0,9	0,5	0,35		
660/380	Трехфазная с нулем	0,875	0,972	1,75	2,5	218,0	133,0
380/220		1,52	1,69	3,04	4,34	72,2	44,0
220/127		2,63	2,92	5,26	7,52	24,2	14,8
320	Трехфазная без нуля	1,52	1,69	3,04	4,34	72,2	44,0
220		2,63	2,52	5,26	7,52	24,2	14,8
40		14,4	16,0	28,9	41,2	0,8	0,488
36		16,0	17,8	32,1	45,8	0,648	0,395
12		48,1	53,5	96,1	137,0	0,072	0,044
660/380	Двухфазная с нулем	1,32	1,46	2,63	3,76	96,8	59,0
380/220		2,27	2,52	4,54	6,49	32,1	19,6
220/127		3,94	4,37	7,87	11,2	10,7	6,56
660/380	Однофазная с нулем	2,63	2,92	5,26	7,52	36,1	22,0
220		4,54	5,05	9,09	13,0	12,1	7,38
127	Двухпроводная переменного и постоянного тока	7,87	8,75	15,7	22,5	4,03	2,46
40		25,0	27,8	50,0	71,4	0,4	0,244
36		27,8	30,9	55,5	79,4	0,324	0,198
12		83,3	92,6	167,0	238,0	0,036	0,022

2.9. Компенсация реактивной мощности в осветительных сетях

Осветительные сети с газоразрядными лампами и электромагнитными ПРА характеризуются низким значением $\cos \varphi = 0,35 \div 0,6$. Для повышения $\cos \varphi$ до значения $0,9 \div 0,95$ используются, как правило, статические конденсаторы. Компенсация реактивной мощности ($\cos \varphi$) может быть индивидуальной (конденсаторы устанавливаются у каждого светильника) и групповой (конденсаторы присоединяются к началу каждой групповой линии или к питающим линиям, или к шинам подстанции).

Реактивная мощность конденсаторов Q_k (в кВ·Ар), необходимая для повышения $\cos \varphi_1$ до значения $\cos \varphi_2$, определяется по формуле

$$Q_k = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2), \text{ кВ} \cdot \text{Ар},$$

где P – активная мощность ламп с учетом потерь в ПРА, кВт.

Промышленностью выпускаются комплектные конденсаторные установки, регулируемые, низкого напряжения на мощности 50÷550 кВ·Ар типа УКМ 70; низкого напряжения с фильтрацией высших гармоник типа УКМФ-71 на мощности от 25 до 300 кВ·Ар. Эти установки снабжены электронными (микропроцессорными) регуляторами мощности, что позволяет поддерживать требуемое значение $\cos \varphi$ в широком диапазоне компенсируемых мощностей. Технические характеристики комплектных конденсаторных установок приведены в табл. 13.

Номинальное напряжение установок 400 В, частота 50 Гц, коэффициент несинусоидальности 3,6, температура окружающего воздуха от –10 до +45 °С; степень защиты IP 21, IP 54; конденсаторы типа КПС.

Таблица 13

Тип	Мощность, кВ·Ар	Количество ступеней	Мощность ступеней	Ток, А	Сечение медного кабеля для ввода, мм ²	Масса, кг
УКМ 70-0,4-50-10-У3						
-75-15-У3	50	5	1×10+2×20	72	3×50	170
-100-20-У3	75	5	1×15+2×30	108	3×100	175
-112,5-12,5-У3	100	5	1×20+2×40	144	3×100	210
-150-25-У3	112,5	9	1×12,5+4×25	161	3×100	215
-200-25-У3	150	6	2×25+2×50	216	3×150	235
-225-25-У3	200	8	2×35+3×50	289	2×(3×185)	280
-250-25-У3	225	9	1×25+4×50	325	2×(3×185)	300
-275-25-У3	250	10	2×25+4×50	361	2×(3×240)	330
-300-25-У3	275	11	2×25+6×50	398	2×(3×240)	340
-350-25-У3	300	12	2×25+5×50	433	2×(3×240)	350
-400-50-У3	350	14	2×25+6×50	498	2×(3×150)	370
-500-50-У3	400	8	2×25+7×50	579	2×(3×185)	430
-550-50-У3	500	10	2×25+9×50	755	2×(3×240)	550
	550	11	2×25+10×50	810	2×(3×240)	580
УКМФ-04-25-25-У3	25	1	1×25	36	3×16	160
-50-25-У3	50	2	2×25	72	3×50	200
-75-25-У3	75	3	1×25+1×50	108	3×70	250
-100-25-У3	100	4	2×25+1×50	144	3×120	280
-125-25-У3	125	5	1×25+2×50	180	3×185	315
-150-25-У3	150	6	2×25+2×50	217	3×240	340
-175-25-У3	175	7	1×25+3×50	253	2×(3×95)	380
-200-25-У3	200	8	2×25+3×50	289	2×(3×120)	400
-250-25-У3	250	5	2×25+4×50	361	2×(3×185)	460
-300-25-У3	300	6	2×25+5×50	433	2×(3×240)	520

Емкость конденсатора при индивидуальной компенсации определяется по формуле

$$C = \frac{Q_k}{2\pi f U^2 \cdot 10^{-3}}, \text{ мкФ},$$

где U – напряжение на зажимах конденсатора, кВ; f – частота питающей сети, Гц; Q_k – реактивная мощность конденсатора, кВ·Ар.

Пример 11. Определить реактивную мощность компенсирующего конденсатора Q_k , ток автоматического выключателя I_a на осветительном щитке, сечения (по току) фазовых S_ϕ и нулевого S_o проводов групповой сети, ток линии $I_{л}$ осветительной сети общей мощностью $P = 18$ кВт, в том числе лампы накаливания $P_n = 3$ кВт, $\cos\varphi = 1$ и лампы ДРЛ мощностью $P_d = 15$ кВт (с учетом потерь в ПРА), $\cos\varphi = 0,5$; $\tan\varphi = 1,73$. Питание освещения осуществляется трехфазной четырехпроводной линией, выполненной кабелем АНРГ. Загрузка фаз равномерная. Фазное напряжение $U_\phi = 0,22$ кВ.

Решение. Реактивная Q_1 , полная S_1 мощности и ток групповой линии $I_{л}$ некомпенсированной осветительной сети

$$Q_1 = P_d \tan\varphi_1 = 15 \cdot 1,73 = 26 \text{ кВ·Ар};$$

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q_1^2} = \sqrt{18^2 + 26^2} = 31,6 \text{ кВ·А};$$

$$I_{л} = \frac{S_l}{\sqrt{3}U_{л}} = \frac{31,6}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot 0,22} = 47,878 \text{ А}.$$

Коэффициент мощности некомпенсированной установки

$$\cos\varphi_1 = P/S_1 = 18/31,6 = 0,57.$$

Необходимая реактивная мощность конденсатора, установленного в начале групповой линии для повышения коэффициента мощности от исходного $\cos\varphi_1 = 0,57$ ($\tan\varphi_1 = 1,43$) до значения $\cos\varphi_2 = 0,95$ ($\tan\varphi_2 = 0,33$)

$$Q_k = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) = 18 \cdot (1,43 - 0,33) = 19,8 \text{ кВ·Ар}.$$

По табл. 13 выбираем комплексную конденсаторную установку типа УКМФ-04-25-25-У3 мощностью 25 кВ·Ар. Тогда при исправленном коэффициенте мощности $\cos\varphi_2$ реактивная мощность

$$Q_2 = Q_1 - Q_k' = 26 - 25 = 1 \text{ кВ·Ар}.$$

$$\text{Полная мощность } S_2 = \sqrt{P^2 + Q_2^2} = \sqrt{18^2 + 1^2} = 18,0277 \text{ кВ·А}.$$

$$\text{Коэффициент мощности } \cos\varphi_2 = P/S_2 = 18/18,0277 = 0,99846.$$

По табл. 12.2 [8] или с учетом рекомендаций [13] для $I_{л} = 48$ А определяем $S_\phi = 16 \text{ мм}^2$. Ввиду отсутствия компенсации реактивной мощности

на участке «автоматический выключатель – лампы» увеличения S_0 до S_ϕ не требуется – в этом случае принимаем $S_0 = 10 \text{ мм}^2$, тогда ток автомата

$$I_a = \frac{S_2 K_{\text{п}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} = \frac{19,6 \cdot 1,4}{1,73 \cdot 0,38} \approx 40 \text{ А},$$

где $K_{\text{п}} = 1,4$ – коэффициент на пусковые токи [8, табл. 10.2].

3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ВНУТРЕННЕГО ОСВЕЩЕНИЯ

В состав технического проекта осветительной установки внутреннего освещения необходимо включить следующие материалы:

- 1) пояснительную записку с подробными расчетами и необходимыми комментариями по светотехническому и электротехническому расчетам;
- 2) таблицы с основными светотехническими и электротехническими показателями;
- 3) план-схему внутренней питающей сети.

В таблицах основных технических показателей содержатся следующие графы:

- наименование объекта;
- освещаемая площадь в м^2 ;
- преимущественная (нормируемая) освещенность участков объекта, в лк;
- расчетная освещенность участков объекта, лк;
- преимущественный тип осветительных приборов общего освещения;
- удельная мощность общего освещения, Вт/м^2 ;
- количество светоточек;
- преимущественный вид проводки групповой сети.

План-схему внутренней питающей сети выполнить в соответствии с требованиями ЕСКД с использованием условных обозначений и надписей, принятых для светотехнических проектов.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

4.1. Светотехническая часть. Нормы наружного освещения

Основной задачей наружного освещения (НО) промышленных предприятий является обеспечение безопасности движения механизированного

транспорта и пешеходов в темное время суток. Установки стандартного НО должны создавать необходимые условия зрительной работы водителей механизированного транспорта и пешеходов, обеспечивающие своевременное обнаружение препятствий. При этом водитель механизированного транспорта должен иметь возможность обнаружить препятствие на пути движения машин с расстояния в несколько десятков метров, а пешеход различить неровности тротуара и мостовой, увидеть ограждения и распознать встречающих людей с расстояния в несколько метров.

Фотометрической характеристикой, определяющей уровень видимости объектов, является яркость дорожного покрытия. Для усовершенствованных дорожных покрытий (асфальт, бетон и т.д.) она в значительной мере зависит от углов падения света, состояния поверхности и т.д. В связи с этим яркость и освещенность покрытия не связаны прямой зависимостью, что не позволяет осуществлять прямое нормирование. Однако в случае простейших покрытий (грунт, щебень и т.д.), имеющих диффузионный характер отражения, может быть применен метод нормирования по освещенности.

Проезжие части магистралей промышленных предприятий, в частности, являются продолжением улиц населенных пунктов, поэтому их НО проектируется, исходя из условия обеспечения средней яркости дорожного покрытия, согласно табл. 14. Отметим, что нормы средней горизонтальной освещенности из табл. 14 утверждены только для населённых пунктов Заполярья, поэтому данные по расчету средней освещенности справедливы для центрального региона России только с октября по апрель месяцы (период сохранения снежного покрова).

Расчет средней яркости дорожного покрытия выполняется по методу коэффициента использования светильника по яркости, значения которого приведены в СН 541-82 (ВСН 22-75) для устаревших типов светильников (РКУ-400 и др.). Для светильников однотипных с ЖКУ 01-400-002 можно использовать в практических расчётах данные [2], которые при установке продольной оси некруглосимметричного светильника под углом φ к горизонту имеют значения, показанные в табл. 15 (для гладкого мелкозернистого асфальтобетонного покрытия).

Для магистралей категорий А и Б (см. табл. 14) регламентируемый показатель ослепленности осветительной установки (ОУ) не должен превышать 150. Для ОУ улиц и дорог категории В, а также для ОУ, нормируемых по средней освещенности, минимальная высота расположения ОП ограничивается, исходя из условий ограничения ослепленности в соответствии с табл. 16.

Таблица 14

Нормируемые значения средней яркости дорожного покрытия
и средней горизонтальной освещенности для улиц,
дорог и площадей различных категорий

Категория объекта по освещению	Улицы, дороги и площади	Наибольшая интенсивность движения в обоих направлениях, транспортных единиц в час	Средняя яркость покрытия, кд/м ²	Средняя горизонтальная освещенность, лк
А	Магистральные дороги, магистральные улицы общегородского значения	Свыше 3000	1,6	20
		Свыше 1000 до 3000	1,2	20
		От 500 до 1000	0,8	15
В	Магистральные улицы районного значения	Свыше 2000	1,0	15
		Свыше 1000 до 2000	0,8	15
		От 500 до 1000	0,6	10
		Менее 500	0,4	10
С	Улицы и дороги местного значения	500 и более	0,4	6
		менее 500	0,3	4
		одиночные автомобили	0,2	4

Таблица 15

Значения коэффициентов использования по освещенности и яркости
для осветительного прибора типа ЖКУ 01-400-002

φ, град.	β, град.	Значения U_E и U_L при отношении ширины расчетной полосы к высоте установки осветительного прибора b/h						
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
		Значения коэффициента использования по освещенности U_E						
0	0;180	0,21	0,31	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38
10	0	0,22	0,34	0,39	0,41	0,43	0,43	0,44
10	180	0,16	0,22	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27
20	0	0,20	0,34	0,40	0,44	0,45	0,46	0,46
20	180	0,15	0,19	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21
30	0	0,16	0,27	0,39	0,43	0,46	0,47	0,48
30	180	0,09	0,12	0,14	0,15	0,15	0,16	0,1
		Значения коэффициента использования по яркости U_L						
0	0;180	0,050	0,069	0,076	0,079	0,081	0,082	0,082
10	0	0,049	0,072	0,081	0,085	0,087	0,088	0,088
10	180	0,038	0,052	0,056	0,057	0,058	-	-
20	0	0,046	0,070	0,083	0,087	0,090	0,092	0,092
20	180	0,032	0,040	0,046	0,048	-	-	-
30	0	0,040	0,067	0,079	0,085	0,089	0,090	0,090
30	180	0,024	0,029	0,030	-	-	-	-

Таблица 16

**Минимально допустимая высота установки светильников
в зависимости от их светораспределения**

Кривая силы света по ГОСТ 17677-82	Наибольший световой поток источников света в ОП, установок на одной опоре, лк	Наименьшая высота установки ОП, м	
		при ЛН	при ГЛ
Полуширокая	Менее 5000	6,5	7
	От 5000 до 10000	7	7,5
	Более 10000 до 20000	7,5	8
	Более 20000 до 30000	-	9
	Более 30000 до 40000	-	10
	Более 40000	-	11,5
Широкая	Менее 5000	7	7,5
	От 5000 до 10000	8	8,5
	Более 10000 до 20000	9	9,5
	Более 20000 до 30000	-	10,5
	Более 30000 до 40000	-	11,5
	Более 40000	-	13

4.2. Выбор, расположение и способ установки светильников

В установках наружного освещения при средней яркости покрытия $0,4 \text{ кд/м}^2$ и выше и средней освещенности 4 лк и выше следует преимущественно применять светильники с газоразрядными источниками или полуширокое светораспределение. Не допускается применение прожекторов, а также открытых ламп без осветительной арматуры. Схемы расположения светильников (фонарей) на магистралях промышленных предприятий должны соответствовать приведенным на рис. 8. На закруглениях улиц с радиусом кривых в плане по оси проезжей части 60 – 125 м светильники при их одностороннем расположении должны размещаться по внешней стороне улицы в соответствии рис. 9, а, освещение пересечений в одном уровне следует выполнять в соответствии со схемой рис. 9, б, в.

Типы опор наружного освещения должны приниматься в соответствии с техническими правилами по экономному расходованию основных строительных материалов.

Подвес светильников на улицах с воздушной электрической сетью общего назначения следует выполнять на опорах этой сети. При этом светильники должны располагаться ниже проводов этой сети или по другую сторону опоры; допускается устанавливать консольные светильники выше проводов указанной сети при условии, что расстояние в плане от края све-

тильника до ближайшего провода не менее 0,6 м. Консольные светильники устанавливаются, как правило, под углом 15° к горизонту. Опоры должны располагаться на расстоянии не менее 0,6 м от лицевой грани бортового камня до наружной поверхности цоколя опоры и не ближе 1,5 м от различного рода въездов.

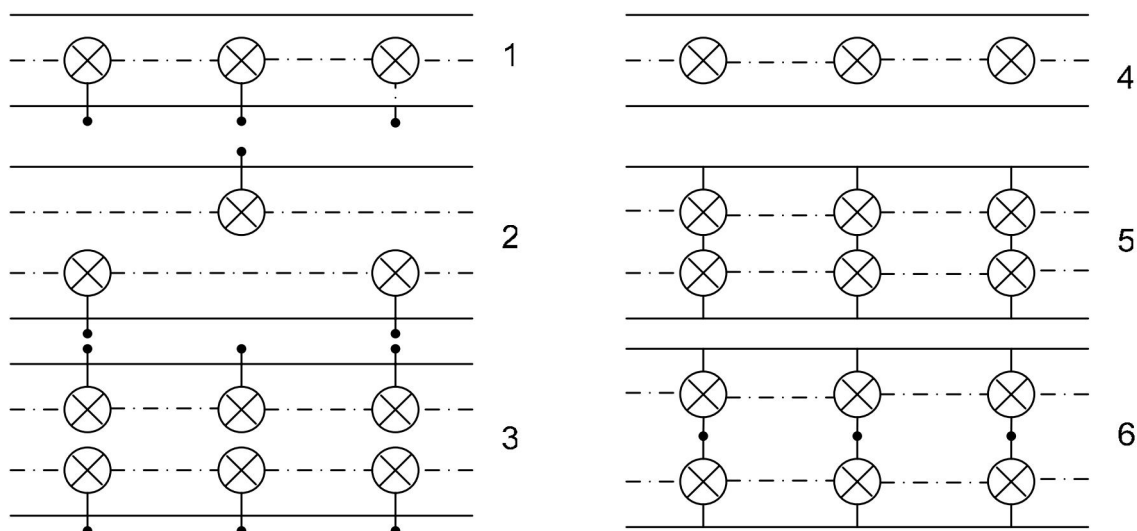


Рис. 8. Схема светильников в ОУ улиц и дорог: 1 – односторонняя; 2 – двухрядная в шахматном порядке; 3 – двухрядная прямоугольная; 4 – осевая; 5 – двухрядная прямоугольная по осям движения; 6 – двухрядная прямоугольная по оси улицы

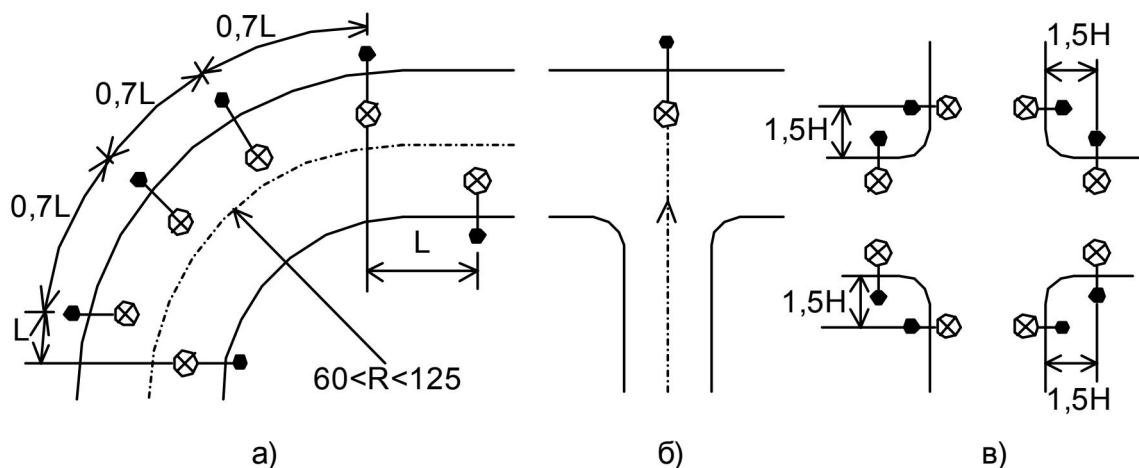


Рис. 9. Схема расположения светильников: а – на закруглении; б – на примыкании; в – на пересечении; Н – высота установки светильников

4.3. Расчет шага фонарей или отдельных светильников при нормировании средней яркости

Схема расположения светильников или фонарей (фонарь образуется несколькими светильниками, размещенными на одном кронштейне) на закруглениях или пересечениях на одном уровне с учетом шага светильников

(рис. 9) не учитывает прямые участки магистралей, для которых шаг фонарей или отдельных светильников рассчитывается по формуле (СН 541-82)

$$L = \frac{1}{\pi B_n b K_3} \sum_{i=1}^M \eta_{B_i} F_{ли} m_i ,$$

где L – шаг фонарей (светильников), м;

B_n – нормируемая средняя яркость, кд/м²;

K_3 – коэффициент запаса;

b – ширина проезжей части улицы или дороги, м;

M – количество рядов светильников вдоль освещаемой полосы (каждый ряд должен состоять из однотипных светильников);

η_{B_i} – коэффициент использования светильника по яркости i -го ряда;

$F_{ли}$ – световой поток ламп светильника i -го ряда;

m_i – число светильников фонаря, относящихся к i -му ряду.

4.4. Расчет шага фонарей или отдельных светильников при нормировании средней освещенности

Инструкция СН 541-82 регламентирует при нормированной средней освещенности шаг фонарей (расстояние между опорами) или отдельных светильников рассчитывать по формуле

$$L = \frac{1}{\pi E_n b K_3} \sum_{i=1}^M \eta_{E_i} F_{ли} m_i ,$$

где E_n – нормируемая освещенность; η_{E_i} – коэффициент использования по освещенности светильников i -го ряда.

Коэффициенты использования типовых светильников по освещенности в направлении $\beta = 0^\circ$ и $\beta = 180^\circ$ приведены в таблицах источников [2, 6, 8, 16]. Шаг фонарей или светильников в районе пешеходного перехода и железнодорожного переезда выбирается равным $1,5 H$ со сдвигом $0,75 H$ в обе стороны относительно осевой линии и перехода (переезда), где H – высота установки светильника.

4.5. Расчет показателя ослепленности

Показатель ослепленности P – это критерий оценки слепящего действия осветительной установки, значение которого определяется по формуле [2]

$$P = 570 \cdot a C_B \frac{\beta_\Sigma}{K_3 B_n} ,$$

где a – коэффициент неэквивалентности, равный: для ЛН –1, для ЛЛ и ДРЛ – 1,3, ДРИ – 1,1, ламп ДНаТ – 0,9; K_3 – коэффициент запаса; B_n – нормируе-

мая средняя яркость, кд/м²; C_v – постоянный коэффициент, зависящий от яркости фона, определяется по графику рис. 10; β_Σ – суммарная яркость вуалирующей пелены, кд/м²,

$$\beta_\Sigma = \sum_{i=1}^M \beta_i,$$

M – число светильников; β_i – яркость вуалирующей пелены, создаваемой i -м рядом светильников.

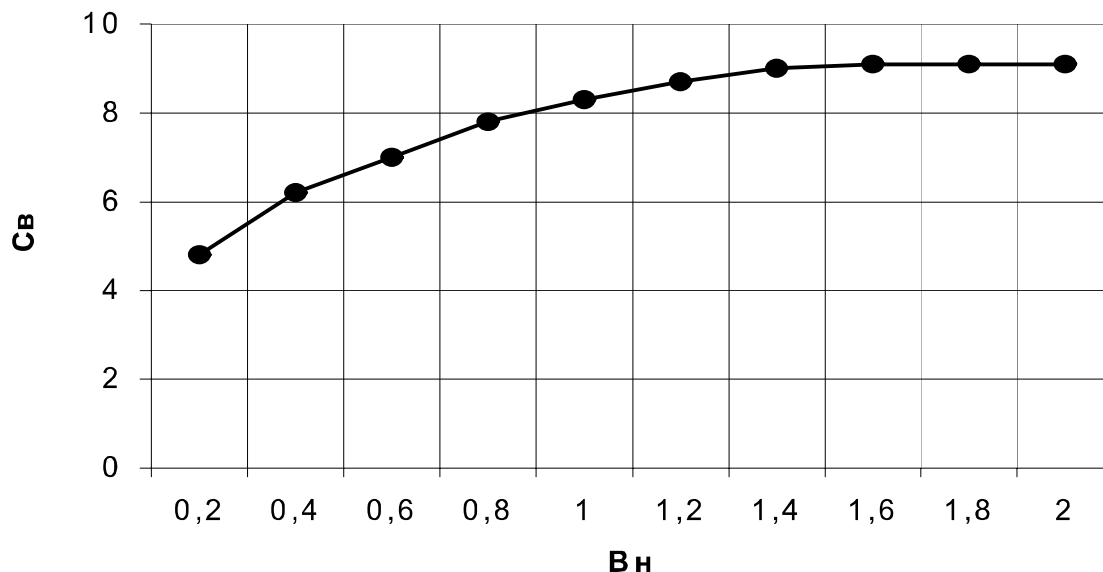


Рис. 10. График зависимости постоянного коэффициента C_v для расчета показателя ослепленности от яркости фона B_n

Яркость вуалирующей пелены от каждого ряда светильников определяется для наблюдателя, находящегося на продольной линии посередине проезжей части данного направления движения, и рассчитывается по формуле

$$\beta_i = \frac{m}{3300[(H-h)^2 + \Delta b_i^2]} [0,88(I_{75^\circ})_i + 0,82(I_{80^\circ})_i + 2,1(I_{85^\circ})_i + 1,55(I_{90^\circ})_i],$$

где H – высота установки светильников, м; h – высота глаз наблюдателя над уровнем проезжей части, принимается равной 1,5 м; Δb_i – расстояние между линией i -го ряда светильников и средней продольной линией проезжей части данного направления движения; m – число светильников фонаря, относящихся к i -му ряду; $(I_{75^\circ})_i, (I_{80^\circ})_i, (I_{85^\circ})_i, (I_{90^\circ})_i$ – величины силы света светильников i -го ряда в плоскости $\beta = 90^\circ$ соответственно под углами $\alpha = 75, 80, 85$ и 90° , кд.

4.6. Электрическая часть. Расчет сетей наружного освещения по потере напряжения

Значение расчетных потерь напряжения в осветительной сети наружного освещения (в процентах) при питании от трансформаторов различной мощности без учета равномерности нагрузки (общий случай) приведено в табл. 17.

Таблица 17

Мощность трансформатора, кВ·А	Расчетные потери в сети, %, при коэффициенте мощности суммарной нагрузки			
	0,9	0,8	0,7	0,6
1	2	3	4	5
20	6	5,5	5,5	5,5
35	0,5			
60				
100				
20	6	5,5	5,5	5,5
35	0,5			
60				
100				
160				
250				
400	7	6,5	6,0	
630 и выше				

При определении расчетных потерь принято, что снижение напряжения у наиболее удаленных ламп равно 5 % номинального напряжения ламп, а коэффициент загрузки трансформатора равен 0,9.

4.6.1. Расчет осветительной сети при равномерной нагрузке фаз

Расчет сечения проводов осветительной сети наружного освещения по потере напряжения проводится по следующим формулам:

а) для однофазных и двухфазных линий, а также трехфазных линий с отдельным нулевым проводом

$$S = \frac{\Sigma M}{C_{\Delta} U};$$

б) для трехфазных линий с использованием нулевого провода сети общего назначения

$$S = \frac{\Sigma M}{C_{\Delta} U} \left(1 + \frac{aK}{\sqrt{P_{\text{н. осв}}}} \right);$$

где S – сечение провода, мм²; ΣM – сумма моментов нагрузки, кВт·м; ΔU – расчетная потеря напряжения, %; C и a – коэффициенты, зависящие

от напряжения сети, сечения нулевого провода и соотношения нагрузки общего пользования и наружного освещения; K – отношение нагрузок сети наружного освещения и сети общего пользования; $P_{\text{н.осв}}$ – нагрузка сети наружного освещения, кВт.

Значения коэффициентов C , a и K приведены в табл. 18 и 19.

Таблица 18

Напряжение сети, В	Число фаз в линии	Значение коэффициента C для медных и алюминиевых проводов			
		При отдельном нулевом проводе		При использовании нулевого провода сети общего назначения	
		алюминий	медь	алюминий	медь
380/220	3	46	77	46	77
	2	20	34	30	51
	1	7,7	12,8	15,3	25,6

Таблица 19

Соотношение нагрузок сети наружного освещения и сети общего пользования	Значение коэффициента a при соотношении сопротивлений нулевого и фазного проводов в сети 380/220 В	
	1:1	2:1
0,05	9,5	18,2
0,1	6,7	13
0,2	4,6	9,1
0,3	3,8	7,4
0,4	3,3	6,5
0,5	2,9	-
0,6	2,7	-
0,7	2,5	-
0,8	2,3	-
0,9	2,2	-
1,0	2,1	-

Приведенные в табл. 18 коэффициенты C определены без учета потери напряжения в общем нулевом проводе. Эти коэффициенты должны применяться только в случае симметрии нагрузки по фазам в общей системе (нагрузки наружного освещения и сети общего пользования). При раздельном расчете сетей наружного освещения и для систем с отдельным нулевым проводом, если сечение нулевого провода сети общего пользования равно сечению фазовых проводов сети наружного освещения. При сечениях нулевого провода отличных от фазного, следует подставлять в

формулу расчетный коэффициент C' , определяемый как произведение коэффициента C , найденного при отдельном нулевом проводе, на коэффициент l , находимый из кривых рис. 11.

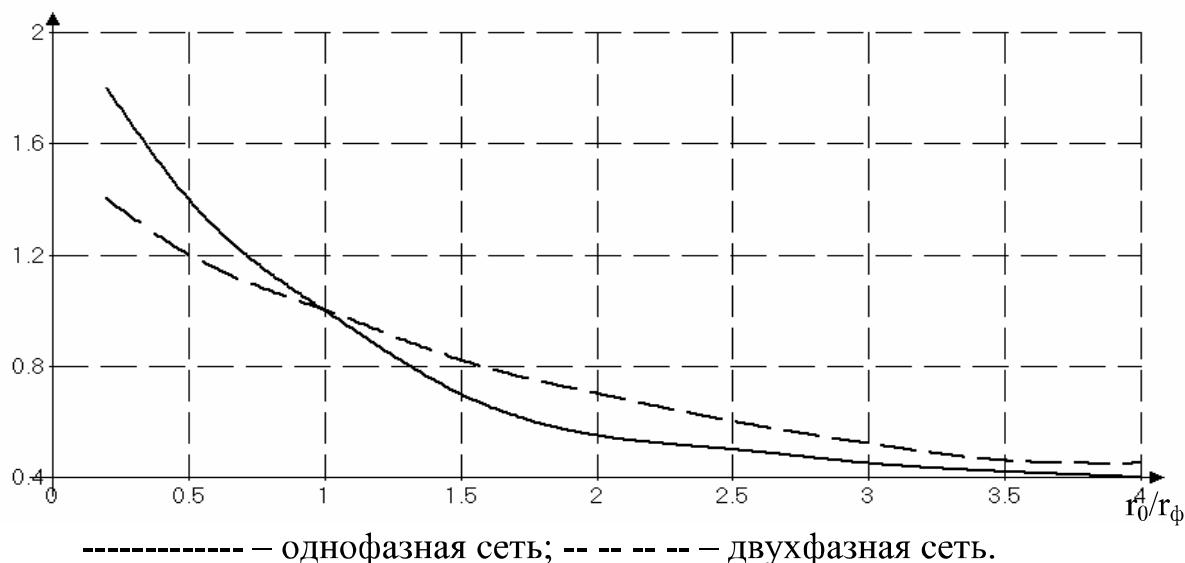


Рис. 11. График для определения поправки l , учитывающей отличие сечения нулевого провода от сечения фазных проводов сети уличного освещения; r_0/r_ϕ — отношение сопротивления нулевого провода к сопротивлению фазного

4.6.2. Расчет сети при неравномерной нагрузке фаз

Расчет сечений фазных проводов с включением ламп на фазное напряжение производится по следующим формулам:

а) для трехфазной схемы с отдельным нулевым проводом (3 фазы + нуль)

$$S = \frac{3M}{C_\Delta U} (1 + K_{\text{нс}} mb);$$

б) для двухфазной схемы (2 фазы + нуль)

$$S = \frac{3M}{C_\Delta U} (1 + K_{\text{нс}} mb);$$

в) для трехфазной схемы с использованием нулевого провода сети общего пользования (3 фазы + общий нулевой провод)

$$S = \frac{3M}{C_\Delta U} \left(1 + \frac{aK_3}{\sqrt{P_{\text{н. осв}}}} + K_{\text{нс}} mb \right);$$

где S — сечение фазного провода наружного освещения, мм^2 ; M — сумма моментов нагрузок в максимально нагруженной фазе линии наружного освещения, $\text{кВт}\cdot\text{м}$; m — соотношение сопротивлений нулевого и фазного проводов; $P_{\text{н. осв}}$ — нагрузка сети наружного освещения, кВт ; $K_{\text{нс}}$ — коэффициент несимметрии фазных нагрузок, определяемый из графика рис. 12; b — ко-

эффициент, зависящий от соотношения фазных нагрузок, определяемый по табл. 20.

Таблица 20

Число фаз в линии с напряжением 380/220 В	Соотношение нагрузок в фазах, %			Коэффициент b
	A	B	C	
3	100	0	0	1,0
	100	0	25	1,2
	100	0	50	1,3
	100	0	75	1,4
	100	0	100	1,0
	100	25	25	1,5
3	100	25	50	1,6
3	100	25	75	1,7
	100	25	100	1,1
	100	50	50	2,0
	100	50	75	1,9
	100	50	100	1,2
	100	75	75	2,5
	100	75	100	1,3
2	100	0	-	1,0
	100	25	-	1,2
	100	50	-	1,3
	100	75	-	1,4
	100	100	-	1,0

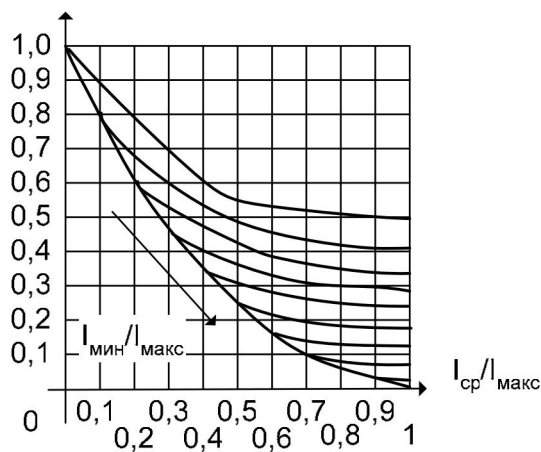


Рис. 12. График для определения коэффициента несимметрии фазных нагрузок $K_{нс}$; $I_{мин}$, $I_{макс}$, $I_{ср}$ – ток наименее, наиболее и средне нагруженной фазы

4.6.3. Расчет осветительных сетей с газоразрядными лампами по потере напряжения

Расчет при отсутствии индивидуальной компенсации реактивной мощности следует производить с учетом реактивного сопротивления – для воздушных линий при сечении провода 16 мм^2 и выше и для кабельных линий при сечении 50 мм^2 и выше. Расчеты следует проводить по формулам пункта 4.6, но вместо допустимой потери напряжения (ΔU , %) следует принимать допустимую величину падения напряжения ($\Delta U'$, %), учитывающую реактивные нагрузки и сопротивления и рассчитываемую по формуле

$$\Delta U' = \gamma_{\Delta} U,$$

где γ – коэффициент снижения допустимого значения потерь напряжения, учитывающий реактивные нагрузки и сопротивления, определяемые из графиков рис. 13.

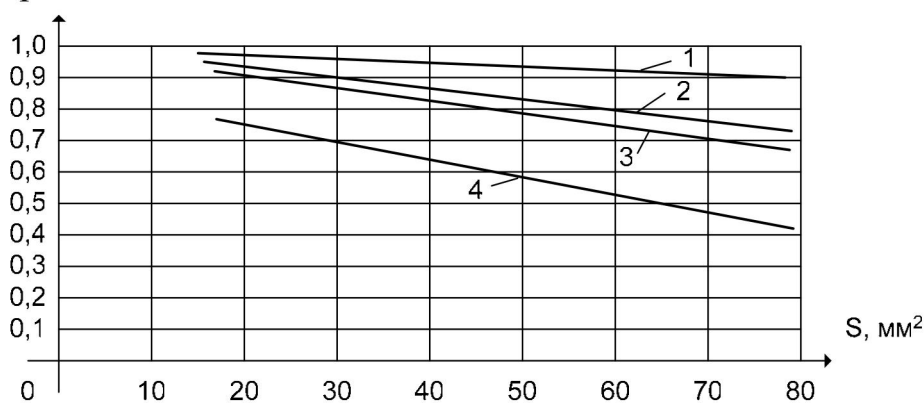


Рис. 13. Графики $\gamma = f(S)$: 1 – кабельная линия, $\cos\varphi = 0,9$; 2 – воздушная линия, $\cos\varphi = 0,9$; 3 – кабельная линия, $\cos\varphi = 0,5$; 4 – воздушная линия, $\cos\varphi = 0,5$

5. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Решение вопросов энергосбережения в системах наружного освещения при жесткой регламентации норм горизонтальной освещенности пешеходных переходов, тротуаров, площадей и яркости дорожного покрытия проезжих частей магистралей связано с правильным выбором методики светотехнического расчета и оправданным выбором осветительных установок (светильников) с соответствующими источниками излучения (лампами). Расчет средней горизонтальной освещенности наружного освещения выполняется, как правило, точечным методом, поскольку методы удельной мощности не эффективны в экономическом смысле, так как дают завышенные результаты по мощности ламп светильников. Следует отметить также, что расчет освещенности точечным методом следует разделить на две независимые задачи.

1. Поверочный, или рекомендательный, расчет для существующей системы наружного освещения с целью её оптимизации по энергетическим и экономическим параметрам (использование современных ламп с большей световой отдачей и меньшей мощностью; переход на новый тип современных светильников, например герметизированных с плоским стеклом и ударопрочным корпусом из композитных материалов типа ЖКУ 001-250).

2. Определение высоты установки светильников и расстояния между ними при выбранных типах ламп и светильников для вновь проектируемых или реконструируемых систем наружного освещения.

Расчетная формула точечного метода для прямой составляющей горизонтальной освещенности имеет вид

$$E = \frac{\Phi_{\text{л}} \sum \varepsilon}{1000 K_3 H^2},$$

где $\Phi_{\text{л}}$ – световой поток выбранной лампы, лм; K_3 – коэффициент запаса (по СНиП 23-05-95 для газоразрядных ламп равен 1,5); H – высота установки светильника; $\sum \varepsilon$ – суммарная относительная освещенность, лк, определяемая по формуле

$$\sum \varepsilon = \sum_{i=1}^n I_{\alpha i} \cdot \cos^3 \left(\arctg \frac{d_i}{H} \right) \frac{H}{H_{li}},$$

где $I_{\alpha i}$ определяется либо по формулам приближённой аналитической аппроксимации для выбранного типа светильника из табл. 21, либо по известной КСС для вычисленного значения $\alpha_i = \arctg \frac{d_i}{H}$; H_{li} – условная расчетная высота установки консольного светильника.

Таблица 21

№ п/п	Обозначение	Аналитическое выражение КСС
1	ЖКУ 001-250	$I_{\alpha} = \frac{260 \cdot \cos \alpha}{\cos[75^{\circ} \cdot \sin^{1,5}(1,2\alpha)]}$
2	ЖКУ-01-400-002-У1	$I_{\alpha} = \frac{180 \cos \alpha}{\cos[75^{\circ} \cdot \sin^{1,5}(1,2\alpha)]}$
3	ЖКУ-02-400-001-У1 РКУ-02-2.50-001-У1	$I_{\alpha} = \frac{150 \cdot \cos \alpha}{\cos[85^{\circ} \cdot \sin^{1,5}(1,2\alpha)]}$
4	РКУ-01-250-009-У1 РКУ-01-400-010-У1	$I_{\alpha} = \frac{200 \cdot \cos \alpha}{\cos[75^{\circ} \cdot \sin^{1,5}(1,2\alpha)]}$

На рис. 14 приняты обозначения: d_i – расстояние по горизонтали от проекции i -го светильника до контрольной точки (в общем случае не равно геометрическому расстоянию из-за возможного наклона оптической оси светильника); L_1 и L_2 – соответственно расстояния между светильниками с одной и другой стороны магистрали; N, M, K – точки наихудшей освещенности магистрали. Расчет начинают с вычисления кратчайшего расстояния от проекции i – условного светильника d_i до контрольной точки и условной высоты установки светильника H_{li} над плоскостью, повернутой на угол θ .

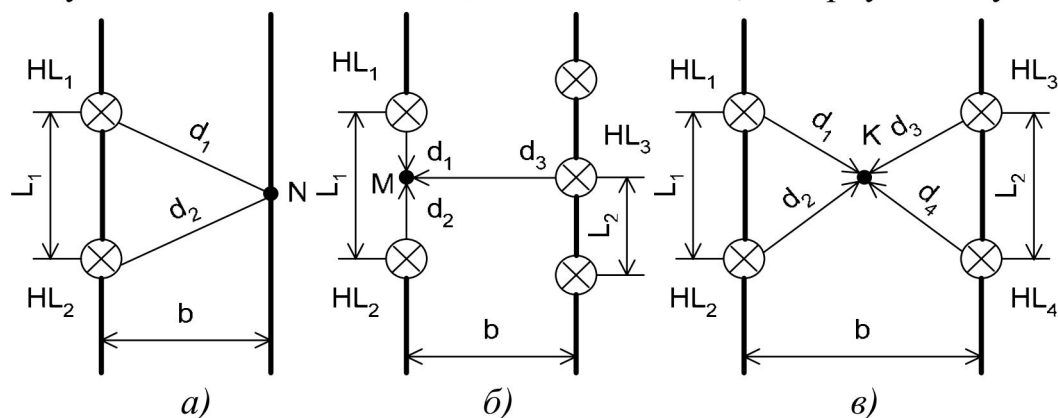


Рис. 14. Точки наихудшей освещенности

Для пояснения рассмотрим геометрические фигуры на рис. 15, где консольный светильник расположен в точке M , на высоте H над поверхностью магистрали с отклонением оптической оси светильника от вертикали на угол θ . Для расчета освещенности в точке A через данную точку проводим наклонную плоскость под углом θ к горизонту. Тогда (см. рис. 15, а) условную расчетную высоту обозначим отрезком CM , являющимся нормалью к наклонной плоскости, а расстояние d_i можно выразить через отрезки CB и AB (см. рис. 15, б и в).

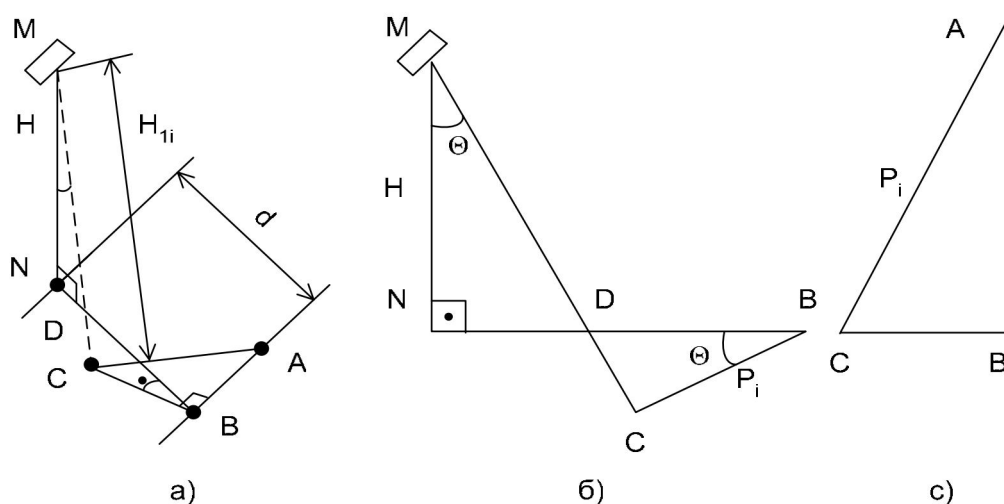


Рис. 15. К определению освещенности от консольного светильника

Из рассмотрения рис. 15, в можно получить выражения для определения вспомогательных параметров P_i и H_{li} для каждого конкретного светильника.

$$H_{li} = b_1^{(i)} \sin \theta + H \cos \theta; \quad CB = P_i = b_1^{(i)} \sin \theta - H \cos \theta,$$

где $b_1^{(1)} = b$; $b_1^{(2)} = b/2$; $b_1^{(3)} = 0$; $b_1^{(4)} = b$ соответственно при расположении контрольной точки по периметру прямоугольника, как это показано на рис. 16.

Из рассмотрения геометрических фигур на рис. 15, в следует, что расстояние $d_i = \sqrt{AB^2 + P_i^2}$ или $d_i = \sqrt{(b_2)^2 + P_i^2}$ ($b_2 = 0$ при расположении контрольной точки в точке (4) на рис. 16 и $b_2 = L/2$ во всех остальных случаях расположения контрольных точек на рис. 14 и 16).

Относительная освещенность ε_i каждого i -го светильника для известных отношений d_i/H и H/H_{li} определяется по формуле

$$\varepsilon_i = I_{\alpha i} \cdot \cos^3 \left(\arctg \frac{d_i}{H} \right) \frac{H}{H_{li}},$$

где $I_{\alpha i}$ определяется по формуле приближенной аналитической аппроксимации КСС конкретного светильника для вычисленного значения

$$\alpha_i = \arctg \frac{d_i}{H}.$$

После этого вычисляем суммарную относительную освещенность всех учитываемых светильников для конкретной контрольной точки

$$\sum \varepsilon = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i,$$

где n – число учитываемых светильников ($n = 2$ для схемы рис. 14, а; $n = 3$ для схемы рис. 14, б и $n = 4$ для схемы рис. 14, в).

С учетом полученных результатов прямая составляющая горизонтальной освещенности в контрольной точке определяется по формуле

$$E = \frac{\Phi_{\text{л}} \sum \varepsilon}{1000 K_3 H^2},$$

где $\Phi_{\text{л}}$ – световой поток выбранной лампы, лм; K_3 – коэффициент запаса (по ВСН и СНиП для газоразрядных ламп принимается равным 1,5).

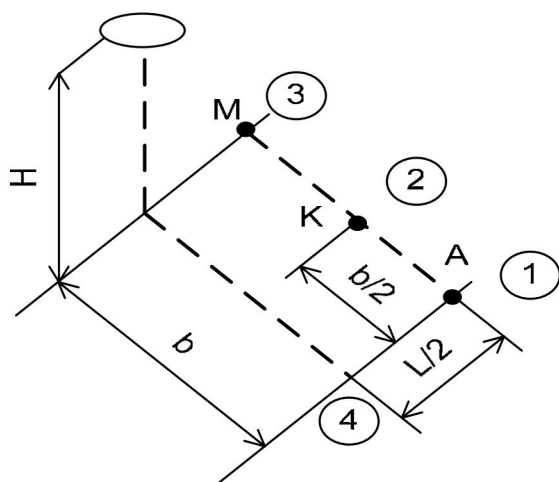


Рис. 16. Иллюстрация к определению координат контрольных точек

Полученные значения освещенности E необходимо сравнить с нормированным значением E_n и если $E < E_n$, то следует уточнить световой поток лампы. По результатам расчета выбирается лампа, значение светового потока которой близко к расчетному в пределах от -10 до $+20$ %.

Численные примеры расчета прямой составляющей горизонтальной освещенности по изложенной выше методике для схем расположения светильников по рис. 14 приведены ниже.

Пример 12. Рассчитать прямую составляющую горизонтальной освещенности дорожного покрытия консольными светильниками, установленными под углом $\theta = 15^\circ$ к горизонту на высоте $H = 10$ м над уровнем покрытия. Ширина проезжей части $b = 12$ м; расстояние между светильниками $L = 30$ м. Светильник типа ЖКУ-001-250 с лампой SON-E-250 (номинальный поток $\Phi_{\text{л}} = 28000$ лм); коэффициент запаса $K_3 = 1,5$. Кривая силы света (КСС) светильника аппроксимируется выражением

$$I_{\alpha} = \frac{260 \cdot \cos \alpha}{\cos[75^\circ \cdot \sin^{1,5}(1,2\alpha)]}, \quad \text{где } \alpha_i = \arctg \frac{d_i}{H}.$$

Решение. Расчет приведем для типовых схем расположения светильников, показанных на рис. 14.

1. Для схемы расположения светильников по рис. 14, а

$$P_{1,2} = b \cdot \cos \theta - H \cdot \sin \theta = 12 \cdot \cos 15^\circ - 10 \cdot \sin 15^\circ = 9,00292 \text{ (м)};$$

$$H_{1,2} = b \cdot \sin \theta + H \cdot \cos \theta = 12 \cdot \sin 15^\circ + 10 \cdot \cos 15^\circ = 12,765087 \text{ (м)};$$

$$d_i = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + P_i^2} = \sqrt{15^2 + 9,00292^2} = 17,494358 \text{ (м)};$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = I_{2i} \cdot \cos^3(\arctg \frac{d_i}{H}) \cdot \frac{H}{H_{1,2}} = I_{40^\circ} \cdot \cos^3(\arctg \frac{17,494358}{10}) \cdot \frac{10}{12,765087} =$$

$$= 310 \cdot \cos^3(\arctg 1,7494358) \cdot 0,78338674 = 29,68 \text{ (лк)};$$

$$\sum \varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \text{ (лк)}; E = \frac{\Phi_{\text{л}} \sum \varepsilon}{1000 K_3 H^2} = \frac{28000 \cdot 59,36}{1000 \cdot 1,5 \cdot 100} = 11,08 \text{ (лк)}.$$

2. Для схемы расположения светильников по рис. 14, б

$$P_{1,2} = H \cdot \sin \theta = -10 \cdot \sin 15^\circ = -2,5881903 \text{ (м)};$$

$$P_3 = b \cdot \cos \theta - H \cdot \sin \theta = 12 \cdot \cos 15^\circ - 10 \cdot \sin 15^\circ = 9,00292 \text{ (м)};$$

$$H_3 = b \cdot \sin \theta + H \cdot \cos \theta = 12 \cdot \sin 15^\circ + 10 \cdot \cos 15^\circ = 12,765087 \text{ (м)};$$

$$H_{1,2} = H \cdot \cos \theta = 10 \cdot \cos 15^\circ = 9,6592582 \text{ (м)};$$

$$d_{1,2} = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + P_{1,2}^2} = \sqrt{(-2,5881903)^2 + 15^2} = 15,2216 \text{ (м)};$$

$$d_3 = \sqrt{(b_2)^2 + P_3^2} = 5,00292 \text{ (мм)};$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 335 \cdot \cos^3 56,7^\circ \cdot \frac{10}{9,659} = 57,39692 \text{ (лк)};$$

$$\sum \varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 211,245 \text{ (лк)};$$

$$E = \frac{28000 \cdot 211,245}{1000 \cdot 1,5 \cdot 100} = 39,43 \text{ (лк)}.$$

3. Для схемы расположения светильников по схеме рис. 14, в

$$d_1 = d_2 = d_3 = d_4;$$

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \frac{b}{2} \cdot \cos \theta - H \cdot \sin \theta = 6 \cdot \cos 15^\circ - 10 \cdot \sin 15^\circ = 3,2073646 \text{ (м)};$$

$$H_1 = H_2 = H_3 = H_4 = \frac{b}{2} \cdot \sin \theta + H \cdot \cos \theta = 6 \cdot \sin 15^\circ + 10 \cdot \cos 15^\circ = 11,212172 \text{ (м)};$$

$$d_1 = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + P_1^2} = \sqrt{(15)^2 + (3,207)^2} = 15,339 \text{ (м)};$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 360 \cdot \cos^3 56,9^\circ \cdot \frac{10}{11,212172} = 55,197 \text{ (лк)};$$

$$\sum \varepsilon = 4\varepsilon_1 = 59,36 \text{ (лк)}, \text{ тогда } E = \frac{28000 \cdot 4 \cdot 55,16}{1000 \cdot 1,5 \cdot 100} = 41,213 \text{ (лк)}.$$

В случае отличия полученного значения освещенности E от нормированной освещенности E_n следует уточнить световой поток лампы и выбрать подходящую по мощности и световому потоку. После этого следует уточнить расчетное значение освещенности

$$E = \frac{\Phi_{\text{л}} \sum \varepsilon}{1000 K_{\text{п}} H^2}.$$

При известных значениях коэффициентов использования светильника по яркости U_L и по освещенности U_E , типа покрытия и отношения ширины проезжей части улицы (b) к высоте подвеса светильника (H) значение средней яркости покрытия $L_{\text{ср}}$ может быть получено умножением значения средней освещенности на коэффициент пересчета $K_{\text{п}}$

$$L_{\text{ср}} = E_{\text{ср}} K_{\text{п}} = E_{\text{ср}} \cdot \frac{U_1}{\pi U_E} \text{ (кд/м}^2\text{)}, \quad \text{где } K_{\text{п}} = \frac{U_1}{\pi U_E}.$$

Поскольку выше определялась наименьшая освещенность, то по её значению можно определить минимальную яркость покрытия:

$$L_{\text{ср}} = E_{\text{ср}} \cdot \frac{U_1}{\pi U_E} \text{ (кд/м}^2\text{)}.$$

Отметим, что коэффициенты использования консольного светильника U_L и U_E должны учитывать угол наклона светильника к горизонту.

6. РАСЧЕТ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

6.1. Коэффициент пульсации

Коэффициенты пульсации светового потока источников света $K_{\text{п.н}}$ и освещенности $K_{\text{п}}$ на рабочих местах определяются по формулам

$$K_{\text{п.н}} = \frac{\Phi_{\text{max}} - \Phi_{\text{min}}}{2\Phi_{\text{ср}}}; \quad K_{\text{п}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2E_{\text{ср}}},$$

где Φ_{max} , Φ_{min} , $\Phi_{\text{ср}}$ – соответственно максимальное, минимальное и среднее значения светового потока за период колебания; E_{max} , E_{min} , $E_{\text{ср}}$ – соответственно максимальное, минимальное и среднее значения освещенности за период колебания.

Ограничение значений $K_{\text{п.н}}$ и $K_{\text{п}}$ может быть достигнуто применением специальных схем включения источников света в светильнике или расфазированием светильников в осветительной установке. Зависимость $K_{\text{п.н}}$ и $K_{\text{п}}$ от упомянутых факторов приведена в табл. 22.

Ограничение коэффициента пульсации освещенности $K_{\text{п}}$ на рабочих местах достигается:

- 1) в двух- и четырехламповых светильниках с ЛЛ применением компенсированных пускорегулирующих аппаратов (ПРА), когда питание одной половины ламп в светильнике осуществляется отстающим током, а другой половины опережающим (светильники с расщепленной фазой);
- 2) поочередным присоединением соседних светильников в ряду или соседних рядов к различным фазам сети;
- 3) установкой в одной световой точке двух или трех светильников с ГЛВД типов ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, присоединенных к разным фазам сети;
- 4) питанием различных ламп в многоламповых светильниках с ЛЛ от разных фаз сети.

Зависимость нормированного значения $K_{\text{п}}$, %, от количества светильников в световой точке, подключенных к разным фазам, приведена в табл. 23.

Таблица 22

Фактические значения коэффициента пульсации

Типы лампы (ЛЛ и ГЛВД)	Значения $K_{п.н}$, %			
	от установленных в одной световой точке			
	одной лампы	двух ламп при схеме питания отстающим и опережающим током	двух ламп, питаемых от разных фаз	трех ламп, питаемых от разных фаз
ЛБ, ЛТБ	25	10,5	10	2,2
ЛХБ	35	15	15	3,1
ЛДЦ	40	17	17	3,5
ЛД	55	23	23	5,0
ДРЛ	65	--	32	5,2
ДРИ (двухкомпонентные)	45	--	23	3,5
ДНаТ	80	--	39,5	6,3
ДКаТ	130	--	65	5,0

Таблица 23

Нормированные значения коэффициента пульсации

Тип ГЛВД	Количество светильников в световой точке, подключенных к разным фазам	Нормированное значение $K_{п}$, %, не более			
		10	15	20	30
ДРЛ	2	-	-	-	+
	3	+	+	+	+
ДРЛ (двухкомпонентные)	2	-	-	-	+
	3	+	+	+	+
ДНаТ	2	-	-	-	-
	3	+	+	+	+

Примечание. Условия, при которых соблюдаются нормированные значения коэффициента пульсации освещенности, отмечены в табл. 23 знаком «+».

Для вычисления $K_{п}$ в той точке расположения рабочих мест, где упомянутый коэффициент пульсации освещенности имеет максимальное значение, сначала отдельно определяются относительные освещенности, создаваемые светильниками, питаемыми от каждой из трех фаз. Наибольшее из полученных значений принимается за 100 %, а остальные выражаются в долях от него. Соответственно полученным долям по табл. 24 и 25, соответственно для ОУ с ЛЛ и ОУ с ГЛВД, определяется $K_{п.табл}$, которое представляет собой пульсацию освещенности в ОУ, если лампы имеют условный $K_{п.н} = 100$ %.

Коэффициент пульсации в ОУ с источником света, реальная пульсация светового потока которого $K_{П.Н} \neq 100\%$ определяется по формуле

$$K_{П} = \frac{K_{П.Н} \cdot K_{П.табл.}}{100\%}.$$

Таблица 24

Освещенность от лампы третьей фазы, %	Значение $K_{П.табл}$ в ОУ с ЛЛ при освещенности от ламп второй фазы, %										
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
0	42,3	45	48,0	51,2	54,5	59,9	64,9	71,5	79,3	88,5	100
10	37,4	39,4	41,8	44,9	47,8	52,3	56,9	62,6	69,0	77,1	-
20	32,3	34,4	36,8	39,4	41,5	45,2	49,5	54,8	68,8	-	-
30	27,8	30,0	32,3	34,8	36,9	40,2	44,2	48,8	-	-	-
40	23,4	25,9	27,9	30,2	32,6	35,4	39,2	-	-	-	-
50	19,8	23,2	24,2	26,3	28,5	31,4	-	-	-	-	-
60	17,2	19,2	21,2	23,4	25,7	-	-	-	-	-	-
70	14,8	16,6	18,4	20,9	-	-	-	-	-	-	-
80	12,4	14,2	16,9	-	-	-	-	-	-	-	-
90	10,4	12,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	8,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Пример 13. Помещение освещается одноламповыми светильниками с ГЛВД типа ДНаТ, включенными поочередно в три фазы ($K_{П.Н} = 80\%$ по табл. 25). Определить $K_{П}$ в расчетной точке ОУ, если лампы, включенные в разные фазы питающей сети, создают в этой точке соответственно освещенности 3000, 1200 и 600 лк.

Таблица 25

Освещенность от лампы третьей фазы, %	Значение $K_{П.табл}$ в ОУ с ГЛВД при освещенности от ламп второй фазы, %										
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
0	49,9	50,3	50,9	52,4	53,9	56,5	61,0	67,1	74,2	88,5	100
10	40,0	40,5	41,0	41,5	43,0	46,0	51,0	56,0	62,5	69,9	-
20	33,3	33,5	34,0	35,3	37,1	39,5	43,1	48,4	55,5	-	-
30	28,1	28,3	28,6	29,2	30,4	31,9	35,4	41,6	-	-	-
40	22,8	23,0	23,5	24,5	26,0	28,1	31,0	-	-	-	-
50	18,0	18,4	19,4	20,5	22,4	24,5	-	-	-	-	-
60	15,0	15,2	15,5	16,5	19,6	-	-	-	-	-	-
70	11,6	12,0	12,6	13,7	-	-	-	-	-	-	-
80	9,3	9,7	10,6	-	-	-	-	-	-	-	-
90	8,8	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	7,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Решение. Принимая наибольшее значение (3000 лк) за 100 %, выразим остальные освещенности в процентах от наибольшего, что составит 100, 40 и 20 %. По табл. 28 находим для источников света с $K_{П.Н} = 40 \%$ (от второй фазы), 20 % (от третьей фазы) значение $K_{П.табл} = 43,1 \%$. Тогда коэффициент пульсации освещенности в ОУ с ГЛВД типа ДНаТ находим из соотношения

$$K_{П} = \frac{K_{П.Н} K_{П.табл}}{100 \%} = \frac{80 \% \cdot 43,1 \%}{100 \%} = 34,48 \%$$

6.2. Цилиндрическая освещенность

Цилиндрическая освещенность $E_{ц}$ есть средняя плотность светового потока на боковой поверхности вертикально расположенного цилиндра, размеры которого стремятся к нулю. При расчете цилиндрической освещенности инженерными методами значение $E_{ц}$ определяется на расстоянии 1 м от торцевой стены на центральной продольной оси помещения на высоте 1,5 м от пола. При этом принимаются следующие допущения.

1. Ограждающие поверхности помещения (пол, потолок, стены) принимаются диффузными, равнорядными по всей поверхности.

2. Светильники заменяются равнорядкой поверхностью, каждый элемент которой имеет светораспределение, соответствующее светораспределению светильника.

3. Светораспределение светильника аппроксимируется формулой

$$I_{\alpha} = I_0 \cdot \cos^m \alpha,$$

где I_0 – сила света в направлении вертикали; I_{α} – сила света под углом α с вертикалью; значение m определяется по формуле

$$m = \frac{2\pi I_0}{\Phi_{\overline{\cup}}} - 1,$$

где $\Phi_{\overline{\cup}}$ – световой поток светильника в нижнюю полусферу, равный для светильников прямого света 1000 лм.

В инженерных методах расчета цилиндрической освещенности используются графики зависимости отношения средней горизонтальной освещенности $E_{г}$ к цилиндрической освещенности $E_{ц}$ от индекса помещения $i_{ц}$ построенные для светильников с различным светораспределением. При этом индекс помещения определяется по расчетной высоте светильника, т.е. по высоте расположения светильника над расчетной поверхностью, на которой нормирована горизонтальная освещенность. Графики для расчета цилиндрической освещенности показаны на рис. 17 для различных сочета-

ний коэффициентов отражения стен и пола помещения и с учетом коэффициента запаса. На всех графиках $1 - \rho_c = 0,3$; $\rho_p = 0,1$; $2 - \rho_c = \rho_p = 0,3$; $3 - \rho_c = 0,5$; $\rho_p = 0,1$; $4 - \rho_c = 0,5$; $\rho_p = 0,3$.

Отметим, что инженерный метод расчета цилиндрической освещенности справедлив для случаев, когда световой поток в верхнюю полусферу менее 15 % от потока в нижнюю полусферу.

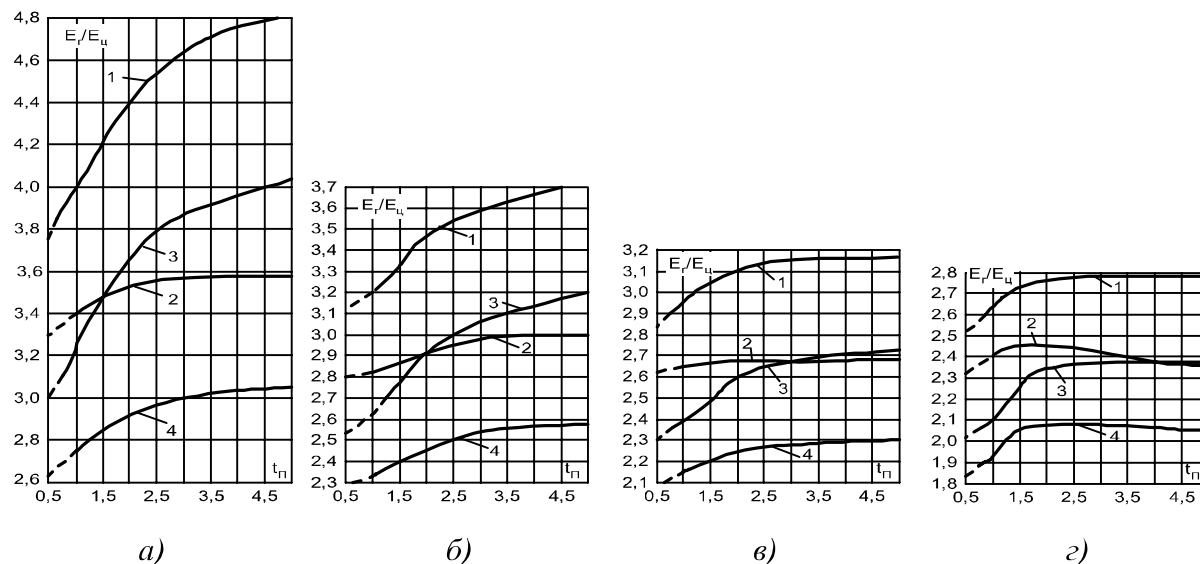


Рис. 17. Графики для расчета цилиндрической освещенности:
 $a - m = 1$; $b - m = 1,43$; $v - m = 2$; $z - m = 3$.

Пример 14. В помещении размером 32×20 м, высотой 7,6 м на потолке установлены светильники ЖСП 49-400-003 прямого света, имеющие КПД 78 % и силу света $I_0 = 6960$ кд. Определить на какую горизонтальную освещенность должно быть рассчитано освещение помещения, чтобы получить цилиндрическую освещенность $E_{Ц} = 150$ лк. Коэффициенты отражения стен и пола соответственно равны 0,5 и 0,3.

Решение. Для данного светильника значение коэффициентов m и i

$$m = \frac{2\pi I_0}{\Phi_{\bar{U}}} - 1 = \frac{2\pi I_0}{1000 \cdot \eta_{св}} - 1 = \frac{2\pi \cdot 6960}{1000 \cdot 0,78} - 1 = 55;$$

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{32 \cdot 20}{7,6(32+20)} = 1,6.$$

Далее из графиков рис. 17, z определяем отношение $\frac{E_{Г}}{E_{Ц}} \cong 2,04$. Следовательно $E_{Г} = 2,04 \cdot E_{Ц} = 2,04 \cdot 150 = 306$ лк.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На новом витке электрификации и бурного развития светотехнического рынка в России и во всем мире остро ощущается недостаток квалифицированных специалистов-светотехников. Кроме того, появление и постоянное обновление ассортимента высококачественных ламп и светильников иностранного производства выдвигает все новые и новые требования к проектированию и эксплуатации осветительных установок, принципиально отличающихся от принятых ранее. Поэтому изложенные в учебном пособии основы проектирования светотехнических установок являются основой для овладения более высокими технологиями светотехнического проектирования.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Номенклатура источников света

Таблица П1.1

Тип	Цоколь	Мощ- ность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	T _ц , К	R _a	Средний срок службы, ч	Фирма изгото- витель, страна
Лампы накаливания общего назначения (220 В)								
Б 230-240-25	Е 27	25	210	8,4	4500	80	1000	ЛПСМА (Саранск) Россия
Б 230-240-40	Е 27	40	430	10,1				
Б 230-240-60	Е 27	60	710	12				
Б 230-240-100	Е 27	100	1370	13,7				
Б 230-240-150	Е 27	150	2150	14,3				
Б 230-240-200	Е 27	200	3000	15				
Б 230-240-300	Е 27, Е 40	300	4800	16				
Б 230-240-500	Е 40	500	8400	16,8				
Б 230-240-750	Е 40	750	13000	17,3				
ЛОН 25	Е 27	25	200	8				
ЛОН 40	Е 27	40	490	10,2				
ЛОН 60	Е 27	60	810	13				
ЛОН 100	Е 27	100	1540	15,4				

Продолжение табл. П1.1

CLASSIK- OSRAM LAS A FR 25 LAS A FR 40 LAS A FR 60 LAS A FR 75 LAS A FR 100 LAS A FR 150 LAS A FR 200	E27	25 40 60 75 100 150 200	220 420 720 940 1360 2200 3100	8,8 10,5 12,0 12,5 13,6 14,7 15,5			1000	OSRAM (Германия)
Галогенные лампы сетевого на- пряжения OSRAM HALOLUX*BT 64470 BT 64472 BT 64476 BT 64478 BT	E27	40 60 100 150	490 840 1600 2550	12,2 14,0 16,0 17,0	2900	60	2000	OSRAM (Герма- ния)
Низковольтные ЛН для светильников местного освещения (12, 24, 36 В)								
MO 12-40 MO 24-40 MO 36-40 MO 36-60 MO 36-100	E 27 E 27 E 27 E 27 E 27	40 40 40 60 100	620 600 580 950 1550	15,5 15 14,5 15,8 15,5			1000	Россия

Тип	Цоколь	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	$T_{ц, К}$	R_a	Средний срок службы, ч	Фирма изготовитель, страна
Компактные люминесцентные лампы								
OSRAM DULUX*LONGLIFE E27	E27	5	240	48	2700	80 – 89	18000	OSRAM (Германия)
DULUX EL 5W/41-827 E27		7	400	57,14				
DULUX EL 7W/41-827 E27		11	600	54,5				
DULUX EL 11W/41-827 E27		15	900	60				
DULUX EL 15W/41-827 E27		20	1200	60				
DULUX EL 20W/41-827 E27		23	1500	65,2				
Компактные спиральные с электронным ПРА	E27	7	400	57,1	2700	80 – 89	8000	Россия
СКЛЭН-7 «АЛАДИН»		11	600	54,5				
СКЛЭН-11 «АЛАДИН»		12	800	66,6				
СКЛЭН-12 «АЛАДИН»		15	900	60,0				
СКЛЭН-15 «АЛАДИН»		20	1200	60,0				
Компактные прямые с электронным ПРА	E27	15	900	60	3000	80 – 89	8000	Philips (Голландия)
PL E 15 Вт; 230 – 240 В		20	1200					
PL E 20 Вт; 230 – 240 В		23	1500					

Продолжение табл. П1.1

Компактные люминесцентные лампы интегрированные Ambiance PRO 6 Вт/827 Ambiance PRO 9 Вт/827 Ambiance PRO 16 Вт/827 Ambiance PRO 20 Вт/827 Ambiance PRO 23 Вт/827	E27	6 9 16 20 23	250 425 900 1200 1350	41,6 47,2 56,25 60,0 58,7	3000	82	12000	Philips (Голландия)
Линейные люминесцентные лампы								
ЛБ-18 ЛБ-20 ЛБ-20-2 ЛБ-30 ЛБ-40 ЛБ-40-2 ЛБ-65 ЛБ-80 ЛД-20-2 ЛД-40-2 ЛД-65-2 ЛД-80-2	G 13	18 20 20 30 40 40 65 80 20 40 65 80	1060 1060 1060 2020 2800 2800 4600 5200 880 2300 3750 4250	58,8 58,8 58,8 67 70 70 70,8 65 44 57,5 57,5 53	3450 3450 3450 3450 3450 3450 3450 6400 6400 6400 6400 6400	65/70	10000 10000 10000 10000 10000 10000 12000 12000 12000 12000 12000 12000	Россия

Продолжение табл. П1.1

Тип	Цоколь	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	T _ц , К	R _a	Средний срок службы, ч	Фирма изготовитель, страна
Диаметр трубки 16 мм – MASTER TL5 HO 24 Bт/827 MASTER TL5 HO 39 Bт/830 MASTER TL5 HO 54 Bт/830 MASTER TL5 HO 80 Bт/830 MASTER TL5 HE 14 Bт/840 MASTER TL5 HE 21 Bт/840 MASTER TL5 HE 28 Bт/830 MASTER TL5 HE 35 Bт/830	G 5	24	1750	83	2700	85	24000	Philips (Голландия)
	G 5	39	3100	90	3000	85	24000	
	G 5	54	4450	93	3000	85	24000	
	G 5	80	6150	88	3000	85	24000	
	G 5	14	1200	96	4000	85	24000	
	G 5	21	1900	100	4000	85	24000	
	G 5	28	2600	104	3000	85	24000	
	G 5	35	3300	104	3000	85	24000	
Диаметр трубки 26 мм – TL-D 14 Bт/33 TL-D 15 Bт/33 TL-D 18 Bт/33 TL-D 23 Bт/54 TL-D 30 Bт/54 TL-D 36 Bт/54 TL-D 54 Bт/54	G13	14	750	53,5	2400	63	18000	
	G13	15	960	64,0	2400	63	18000	
	G13	18	1200	66,6	2400	63	18000	
	G13	23	1550	67,4	2800	72	18000	
	G13	30	1825	60,8	2800	72	18000	
	G13	36	2500	69,4	2800	72	18000	
	G13	54	4000	74,0	2800	72	18000	

Продолжение табл. П1.1

L 10W/41-827 Plus Eco L 15W/11-840 Plus Eco L 16W/11-840 Plus Eco L 30W/11-840 Plus Eco FQ 39 W/840 FQ 54 W/840 FQ 80 W/840	G 13 G 13 G 13 G 13 G 13 G 13 G 13	10 15 16 30 39 54 80	650 950 1250 2350 3500 5000 8000	65,0 63,3 78,0 78,3 89,7 92,6 100,0	3000 3000 3000 3000 3000 3000 3000	80 – 89 80 – 89 80 – 89 80 – 89 80 – 89 80 – 89 80 – 89	>20000 >20000 >20000 >20000 >20000 >20000 >20000	OSRAM (Германия)
Дуговые ртутные лампы высокого давления с люминофором (ДРЛ)								
ДРЛ-125 ДРЛ-250 ДРЛ-400 ДРЛ-700 ДРЛ-1000	E 27 E 40 E 40 E 40 E 40	125 250 400 700 1000	6300 23000 24000 41000 59000	50,4 54 60 58,5 59	4000 4000 4000 4000 4000	42 42 42 42 42	12000 12000 15000 20000 18000	Россия
HQL 50 HQL 80 HQL 125 HQL 250 HQL 400 HQL 700 HQL 1000	E 27 E 27 E 27 E 40 E 40 E 40 E 40	50 80 125 250 400 700 1000	1800 3800 6300 13000 22000 38500 58000	36 47,5 50,4 52,0 55,0 55,0 58,0	4200 4100 4000 3900 3800 3550 3550	40 – 59 40 – 59 40 – 59 40 – 59 40 – 59 40 – 59 40 – 59	18000 18000 18000 18000 18000 18000 18000	OSRAM (Германия)

Продолжение табл. П1.1

Тип	Цоколь	Мощ- ность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Тц, К	Ra	Средний срок службы, ч	Фирма изгото- витель, страна
HPL-N 50W	E27	50	1770	36,0	4200	49	15000	Philips (Голландия)
HPL-N 80W	E27	80	3600	45,0	4300	48	15000	
HPL-N 125W	E27	125	6200	50,0	4100	46	15000	
HPL-N 125W	E 40	125	6200	50,0	4100	46	15000	
HPL-N 250W	E 40	250	12700	51,0	4100	40	15000	
HPL-N 400W	E 40	400	22000	55,0	3900	40	15000	
HPL-N 700W	E 40	700	38500	55,0	3900	36	15000	
HPL-N 1000W	E 40	1000	58500	59,0	3900	33	15000	
HPLCOMFORT PRO 400W	E 40	400	24200	61,0	3500	47	15000	
Металлогалогенные лампы (типа ДРИ)								
ДРИ-250-5	E 40	250	19000	76	4200	65	10000	Россия
ДРИ-400-5	E 40	400	36000	90	4200	65	10000	
ДРИ-700-5	E 40	700	60000	85,7	4200	65	9000	
ДРИ-1000-5	E 40	1000	103000	103	4200	65	9000	
ДРИ-1000-6	E 40	1000	103000	100	4200	65	3000	
ДРИ-2000-6	E 40	2000	200000	100	4200	65	2000	
ДРИ-3500-6	E 40	3500	350000	100	4200	65	1500	
НРІ-Т 250W	E 40	250	17000		4600	65		Philips (Голландия)
НРІ-Т-400W	E 40	400	30500		4500	65		
НРІ-Т-1000W	E 40	1000	82000		4300	65		
НРІ-Т-2000W 220V	E 40	2000	189000		4900	65		
НРІ-Т-2000W 380V	E 40	2000	183000		4300	65		

Ртутно-вольфрамовые лампы										
ДРВ 160	E 27	160	8000	50	4000	60 – 69	12000	Россия		
ДРВ 250	E 40	250	13500	54	4000		12000			
ДРВ 500	E 40	500	25000	50	4000		15000			
HWL 160 225 V	E 27	160	3100	19,3	3600	60-69	9000	OSRAM (Германия)		
HWL 160 235 V	E 27	160	3100	19,3	3600	60-69				
HWL 250 225 V	E 40	250	5600	22,4	3800	60-69				
HWL 250 235 V	E 40	250	5600	22,4	3800	60-69				
HWL 500 225 V	E 40	500	14000	28	4100	60-69				
HWL 500 235 V	E 40	500	14000	28	4100	60-69				
ML 100 230/240 V	E 27	100	1100	11	3050	60	9000	Philips (Голландия)		
ML 160 230/240 V	E 27	160	3150	19,7	3500	60	9000			
ML 250 230/240 V	E 40	250	5700	22,8	3550	60	9000			
ML 500 230/240 V	E 40	500	13000	26	3750	50	9000			
Натриевые лампы высокого давления (типа ДНаТ)										
ДНаТ-250-5	E 40	250	28000	96	2000	23	>12000	Россия		
ДНаТ-400-5	E 40	400	48000	120						
ДНаТ-70	E 27	70	5000	71,4						
ДНаТ-100	E 27	100	9800	98						
ДНаТ-150	Ex40	150	14000	93,3						
ДНаТ-250	Ex40	250	26000	104						
ДНаТ-100	E 40	100	9500	95						
ДНаТ-150	E 40	150	15000	100						

Окончание табл. П1.1

Тип	Цоколь	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Тц, К	Ра	Средний срок службы, ч	Фирма изготовитель, страна
MASTER SON PIA 50 Вт	E 27	50	3500	70	1950	23	>24000	Philips (Голландия)
MASTER SON PIA 70 Вт	E 27	70	5600	80	1950			
MASTER SON PIA 150Вт Hgf	E 40	150	14500	97	2150			
MASTER SON PIA 250Вт Hgf	E 40	250	27000	108	2150			
MASTER SON PIA 400Вт Hgf	E 40	400	48000	120	2150			
MASTER SON PIA 100 Вт	E 40	100	10000	100	1950			
MASTER SON PIA 150 Вт	E 40	150	16000	107	1950			
MASTER SON PIA 250 Вт	E 40	250	30000	120	1950			
MASTER SON PIA 400 Вт	E 40	400	54000	135	1950			
SPX ECO ARC 98 W	E 27	98	7400	75,5	2000	23	>24000	SILVANIA (Германия)
SPX ECO ARC 190 W	E 40	190	17000	89,5	2000			
SPX ECO ARC 295 W	E 40	295	32000	108,5	2000			

Требования к освещению промышленных предприятий

Наивысшей точности	менее 0,15	I	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение										Естественное освещение		Совмещенное освещение	
							Освещенность, лк		Сочетание нормируемых величин: показателя ослепленности и коэффициента пульсации		Р		Кп, %		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	2,0	6,0	2,0			
	всего	в том числе от общего	всего	5000	500	---	---	20	10	10	10	10	10	10						
	всего	в том числе от общего	всего	4000	400	1250	20	10	10	10	10	10	10	10						
	всего	в том числе от общего	всего	2500	300	750	20	10	10	10	10	10	10	10						
	всего	в том числе от общего	всего	2000	200	600	10	10	10	10	10	10	10	10						

Продолжение табл. П2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			г	средний большой большой	светлый светлый средний	1500 1250	200 200	400 300	20 10	10				
Очень высокой точности	от 0,15 до 0,30	II	а	малый	темный	4000 3500	400 400	--- ---	20 10	10 10	-----	-----	4,2	1,5
			б	малый средний	средний темный	3000 2500	300 300	750 600	20 10	10 10				
			в	малый средний большой	светлый средний темный	2000 1500	200 200	500 400	20 10	10 10				
			г	средний большой большой	светлый светлый средний	1000 750	200 200	300 200	20 10	10 10				
Высокой точности	от 0,30 до 0,50	III	а	малый	темный	2000 1500	200 200	500 400	40 20	15 15	-----	-----	3,0	1,2
			б	малый средний	средний темный	1000 750	200 200	300 200	40 20	15 15				
			в	малый средний большой	светлый средний темный	750 600	200 200	300 200	40 20	15 15				

Продолжение табл. П2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			г	средний большой большой	светлый светлый средний	400	200	200	40	15				
Средней точности	свыше 0,5 до 1,0	IV	а	малый	темный	750	200	300	40	20	4	1,5	2,4	0,9
			б	малый средний	средний темный	500	200	200	40	20				
Средней точности	свыше 0,5 до 1,0	IV	в	малый средний большой	светлый средний темный	400	200	200	40	20	4	1,5	2,4	0,9
			г	средний большой большой	светлый светлый средний	-----	-----	200	40	20				
Малой точности	свыше 1 до 5	V	а	малый	темный	400	200	300	40	20	3	1	1,8	0,6
			б	малый средний	средний темный	-----	----	200	40	20				
			в	малый средний большой	светлый средний темный	-----	----	200	40	20				
			г	средний большой большой	светлый светлый средний	-----	----	200	40	20				

Окончание табл. П2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Грубая (очень малой точности)	более 5	VI		Независимо от ха- рактеристик фона и контраста объекта с фоном	---	---	---	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Работа со светящи- мися материалами и изделиями в горячих цехах	более 0,5	VII		То же	---	---	---	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Общее наблюдение за ходом производст- венного процесса. Постоянное	----	III		а	То же	---	---	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Периодическое при постоянном пребыва- нии людей в помеще- нии				б	То же	---	---	75	---	---	1	0,3	0,7	0,2
Периодическое при периодическом пре- бывании людей				в	То же	---	---	50	---	---	0,7	0,2	0,5	0,2
Общее наблюдение за инженерными коммуникациями				г	То же	---	---	20	---	---	0,3	0,1	0,2	0,1

Примечания:

1. Для подразряда норм от I а до III в может приниматься один из наборов нормируемых показателей, приведенных для данного подразряда в графах 7 – 11.

2. Наименьшие размеры объекта различения и соответствующие им разделы зрительной работы установлены при расположении объектов различения на расстоянии не более 0,5 м от глаз работающего. При увеличении этого расстояния разряд зрительной работы следует устанавливать в соответствии с прил. Б. Для протяженных объектов различения эквивалентный размер выбирается по прил. В.
3. Освещенность при использовании ламп накаливания следует снижать по шкале освещенности:
- а) на одну ступень при системе комбинированного освещения, если нормируемая освещенность составляет 750 лк и более;
 - б) на одну ступень при системе общего освещения для разрядов I – V, VI;
 - в) на две ступени при системе общего освещения для разрядов VI и VIII.
4. Освещенность при работах со светящимися объектами размером 0,5 мм и менее следует выбирать в соответствии с размером объекта различения и относить их к подразряду «в».
5. Показатель ослепленности регламентируется в графе 9 только для общего освещения (при любой системе освещения).
6. Коэффициент пульсации указан в графе 9 для системы общего освещения или для светильников местного освещения при системе комбинированного освещения. K_{Π} от общего освещения в системе комбинированного не должен превышать 20 %.
7. Предусматривать систему общего освещения для разрядов I – III, IVa, IVb, Va допускается только при технической невозможности или экономической нецелесообразности применения системы комбинированного освещения, что конкретизируется в отраслевых нормах освещения, согласованных с Государственным комитетом санитарно-эпидемиологического надзора Российской Федерации.
8. В помещениях, специально предназначенных для работы или производственного обучения подростков, нормированное значение КЕО повышается на один разряд по графе 3 и должно быть не менее 1,0 %.

Рекомендации по выбору коэффициента запаса

Таблица П2.2

Помещения и территории	Примеры помещений	Искусственное освещение			Естественное освещение				
		Коэффициент запаса K_3			Коэффициент запаса K_3				
		Количество чисток светильников в год			Количество чисток светильников в год				
		Эксплуатационная группа светильников			Угол наклона светопропускающего материала к горизонту, градусы				
1	2	1 – 4	5 – 6	7	0 – 15	16 – 45	46 – 75	76 – 90	
		3	4	5	6	7	8	9	
1. Производственные помещения с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне:									
а) св. 5 мг/м³ пыли, дыма, копоти	Агломерационные фабрики, цементные заводы и обрубные отделения литейных цехов	$\frac{2,0}{18}$	$\frac{1,7}{6}$	$\frac{1,6}{4}$	$\frac{2,0}{4}$	$\frac{1,8}{4}$	$\frac{1,7}{4}$	$\frac{1,5}{4}$	
б) от 1 до 5 мг/м³ пыли, дыма, копоти	Цехи кузнечные, литейные, сборного железобетона	$\frac{1,8}{6}$	$\frac{1,6}{4}$	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{1,8}{3}$	$\frac{1,6}{3}$	$\frac{1,5}{3}$	$\frac{1,4}{3}$	
в) менее 1 мг/м³ пыли, дыма, копоти	Цехи инструментальные, сборочные, механические, механосборочные, пошивочные	$\frac{1,5}{4}$	$\frac{1,4}{2}$	$\frac{1,4}{1}$	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{1,4}{2}$	$\frac{1,3}{2}$	

г) значительные концентрации паров, кислот, щелочей, газов, способных при соприкосновении с влагой образовывать слабые растворы кислот, щелочей, а также обладающих большой коррозирующей способностью	Цехи химических заводов по выработке кислот, щелочей, едких химических реактивов, ядохимикатов, удобрений, цехи гальванических покрытий и различных отраслей промышленности с применением электролиза	$\frac{1,8}{6}$	$\frac{1,6}{4}$	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{2,0}{3}$	$\frac{1,8}{3}$	$\frac{1,7}{3}$	$\frac{1,5}{3}$
2. Производственные помещения с особым режимом по чистоте воздуха при обслуживании светильников:								
а) с технического этажа		$\frac{1,3}{4}$	----	----	----	----	----	----
б) снизу из помещения		$\frac{1,4}{2}$	----	----	----	----	----	----

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3. Помещение общественных и жилых зданий:								
а) пыльные, жаркие и сырые	Горячие цехи предприятий общественного питания, охлаждаемые камеры, помещения для приготовления растворов в прачечных, душевые и т.д.	$\frac{1,7}{2}$	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{2,0}{3}$	$\frac{1,8}{3}$	$\frac{1,7}{3}$	$\frac{1,6}{3}$
б) с нормальными условиями среды	Кабинеты и рабочие помещения, жилые комнаты, учебные помещения, лаборатории, читальные залы, торговые залы и т.д.	$\frac{1,4}{2}$	$\frac{1,4}{1}$	$\frac{1,4}{1}$	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,4}{2}$	$\frac{1,3}{1}$	$\frac{1,2}{1}$
4. Территории с воздушной средой, содержащей:								
а) большое количество пыли (более 1 мг/м³)	Территория металлургических, химических, горнодобывающих предприятий, шахт, рудников, железнодорожных станций и прилегающих к ним улиц и дорог.	$\frac{1,5}{4}$	$\frac{1,5}{4}$	$\frac{1,5}{4}$	-----	-----	-----	-----
б) малое количество пыли (менее 1 мг/м³)	Территории промышленных предприятий, кроме указанных в подпункте «а» и общественных зданий	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,5}{2}$	-----	-----	-----	-----

5. Населенные пункты									
	Улицы, площади, дороги, территории жилых районов, парки, бульвары, пешеходные тоннели, фасады зданий, памятники.	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{1,5}{1}$	-----	-----	-----	-----	-----
	Транспортные тоннели	-----	$\frac{1,7}{2}$	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Примечание:

1. Значения коэффициента запаса, указанные в графах 6, 7, 8, 9, следует умножать на 1,1 – при применении узорчатого стекла, стеклопластика, армопленки и матированного стекла; на 0,9 – при применении органического стекла.
2. Значения коэффициента запаса, указанные в графах 3, 4, 5, приведены для разрядных источников света. При использовании ламп накаливания их следует умножать на 0,85.
3. Значения коэффициента запаса, указанные в графе 3, следует снижать при одноосменной работе по позициям 1б, 1г – на 0,2, по позициям 1а – на 0,1; при двухосменной работе – по позициям 1б, 1г – на 0,15.

Таблица П2.3

Требования к наружному освещению

Категория объекта по освещению	Улицы, дороги и площади	Наибольшая интенсивность движения в обоих направлениях транспортных дорог	Средняя яркость покрытия, кд/м ²	Средняя горизонтальная освещенность покрытия, лк
А	Магистральные дороги, магистральные улицы общегородского значения	св. 3000	1,6	20
		св. 1000 до 3000	1,2	20
		от 500 до 1000	0,8	15
Б	Магистральные улицы районного значения	св. 3000	1,0	15
		св. 1000 до 3000	0,8	15
		от 500 до 1000	0,6	10
		менее 500	0,4	10
В	Улицы и дороги местного значения	500 и более	0,4	6
		менее 500	0,3	4
		одиночные автомобили	0,2	4

УКАЗАНИЯ ПО ВЫБОРУ СВЕТИЛЬНИКОВ. КРИВЫЕ СИЛЫ СВЕТА

1. Маркировка и светотехнические характеристики светильников

В соответствии с ГОСТ 13828-74 каждому светильнику, за исключением светильников специального назначения, присваивается шифр следующей структуры:

$$\boxed{1} \quad \boxed{2} \quad \boxed{3} \quad \boxed{4} - \boxed{5} \times \boxed{6} - \boxed{7} - \boxed{8},$$

где 1 – буква, обозначающая источник света (Н – лампа накаливания общего применения, Р – ртутные лампы типа ДРЛ, Л – прямые трубчатые люминесцентные лампы, И – кварцевые галогенные лампы накаливания, Г – ртутные лампы типа ДРИ, Ж – натриевые лампы, К – ксеноновые трубчатые лампы и т.д.); 2 – буква, обозначающая способ установки светильника (С – подвесные, П – потолочные, Б – настенные, В – встраиваемые и т.д.); 3 – буква, обозначающая основное назначение светильника (П – для промышленных предприятий, О – для общественных зданий, У – для наружного освещения, Д – для рудников и шахт, Б – для бытовых помещений); 4 – двухзначное число (01 – 99), обозначающее номер серии; 5 – число, обозначающее количество ламп в светильнике (для одноламповых светильников число 1 не указывается и знак «Х» не ставится, а мощность указывается непосредственно после тире); 6 – число, обозначающее мощность ламп в В; 7 – трехзначное число (001 – 099), обозначающее номер модификации; 8 – обозначение климатического исполнения и категории размещения светильников.

ГОСТ 13828-74 классифицирует также светильники по степени защиты от пыли и воды.

Обозначение степени защиты состоит из двух прописных букв латинского алфавита IP (international protection – англ.) и двух цифр, первая из которых обозначает степень защиты от пыли, вторая – от воды. При наличии некоторых конструктивных особенностей в светильнике его обозначение степени не имеет букв IP, а у первой цифры, указывающей степень защиты от пыли, добавляется «штрих» (например 5'4).

По степени защиты от пыли различают светильники открытые (2), перекрытые с неуплотненной светопроницаемой оболочкой (2'), пылезащитные, т.е. допускающие проникновение пыли в полость светильника только в безвредных количествах (5), с ограниченной зоной пылезащиты только в пределах расположения контактных частей (5'), пыленепроницаемые (6) и с ограниченной зоной пылепроницаемости (6').

По степени защиты от воды различаются светильники незащищенные (0), каплезащищенные (2), дождезащищенные (3), брызгозащищенные (4), струезащищенные (5) и некоторые другие.

По климатическому исполнению: У – светильники для умеренного климата; Т – для тропиков и т.д.

Общая характеристика сортамента светильников для освещения производственных зданий приведена в табл. ПЗ.1.

Таблица ПЗ.1

Номенклатура светильников

Тип светильников	Количество и мощность ламп	КПД, %	Тип КСС	Степень защиты	Климатическое исполнение	Характеристика помещения	Примечание
НСП 17-100-104	100	75	Д	5'0	УХЛ4		
НСП 17-200-103	200	75	Л	5'0			
НСП 17-500-104	500	75	Г	5'0	У3	сухое, чистое	
НСП 17-1000-004	1000	75	Г	IP20	У3		
РСП 05-125-001	125	80					
РСП 05-250-001	250	80					
РСП 05-400-001	400	80	Г	IP20			
РСП 05-700-001	700	80		IP54	УХЛ4	сухое, чистое	
РСП 05-1000-001	1000	80					
ЖСП 01-400-007	ДнаТ-400-5	75	Г	IP20	У3		
ЖСП 01-400-008	ДнаТ-400-5	75	К	IP20	У3		
ГСП 17-700-055	ДРИ-700-5	78	К	IP20	У3	сухое, чистое	
ГСП 17-2000-055	ДРИ-2000-5	78	К	IP20	У3		
РСП 48-250(400)-001	250(400)	60	Л÷К	IP54	УХЛ4		
ЖСП 48-250(400)-001	250(400)	60	Л÷К	IP54	УХЛ4		
ГСП 48-250(400)-001	250(400)	60	Л÷К	IP54	УХЛ4	тяжелые условия среды	индивидуальной компенсации
ГПП 06-(250-400)-001	250(400)	60	Л	IP54	УХЛ2		
РПП 06-(250-400)-001	250(400)	60	Л	IP54	УХЛ2		
ЖПП 06-(100-400)-001	100(400)	60	Л	IP54	УХЛ2		

Окончание табл. ПЗ.1

Тип светильников	Количество и мощность ламп	КПД, %	Тип КСС	Степень защиты	Климатическое исполнение	Характеристика помещения	Примечание
РСП 25-125(250) ВЗГ-200-АМС	125(250) 200(лн)	60 60	М М	IP54 IP54		тяжелые условия среды	
ЖКУ-150(250)001 ЖКУ-400-001 ЖКУ 02-400-001 ГКУ 02-250-001 РКУ 02-400-002 РКУ 02-250-001 РКУ 01-125-008 РКУ 01-250-007 РКУ 01-400-006	150(250) 400 400 250 400 250 125 250 400	>75 >60 >60 >60 >60 >60 >60 >60 >60	Л Л Ш Ш Ш Ш Л Л Л	IP66 IP53 IP53 IP53 IP53 IP53 IP23 IP23 IP23	У1 У1 У1 У1 У1 У1 У1 У1 У1	тяжелые условия среды	
РСУ 05-250-001 ГСУ 05-250-001 ЖСУ 05-250-001	250 250 250	>60 >60 >60	Ш Ш Ш	IP53 IP53 IP53	У1 У1 У1	тяжелые условия среды	
ЖКУ 32-70, 150(250)-001 ГКУ 32-150(250)-001 РКУ 45-80(125)-001	70, 150, 250 150, 250 80, 125	>60 >60 >60	Л-Ш	IP66 IP66 IP66	УХЛ1 УХЛ1 УХЛ1	тяжелые условия среды	индивидуальной компенсации
ЛСП 18-18-002 ЛСП 18-36-002 ЛСП 18-58-002	18 36 58	75 75 75	М М М	IP65 IP65 IP65	УХЛ4,04 УХЛ4,04 УХЛ4,04	пыльное, влажное, сырое	

ЛСП 18-65-002 ЛСП 18-40-002 ЛСП 18-36-002	65 40 36	88 88 73	специальная	5'4 5'4 IP65	УХЛ4,04 УХЛ4,04 УХЛ4,04	пыльное, влаж- ное, сырое	
ЛСП 22-65-001 ЛСП 22-2×65-001 ЛПП-24 2×18 6** ЛПП-24 2×36 6**	65(ЛБР65) 2×65(ЛБР65) 2×18 2×36	92 85	Д Д Д Д	5'3 5'3 IP65 IP65	УХЛ4 УХЛ4,04 УХЛ4 УХЛ4	сухое, чистое сухое, чистое пыльное, влаж- ное	
ЛСП 02-2×36-001 ЛСП 02-2×58-001 ЛСП 02-2×36-003 ЛСП 02-2×58-003	2×36 2×58 2×36 2×58	72 72 72 72	Д Д Д Д	IP20 IP20 IP20 IP20	УХЛ4 УХЛ4 УХЛ4 УХЛ4	сухое, чистое	
ЛСП 24-2×40-002 ЛСП 24-2×65-002 ЛСП 40-2×40-001	2×40 2×65 2×40	85 85 >65	специальная М	5'4 5'4 IP54	УХЛ4 УХЛ4 УХЛ4	пыльное, влаж- ное	
ЛПО 50-36(40)-002	2×36 2×40	0,92	М	IP20		сухое, чистое	

2. КРИВЫЕ СИЛЫ СВЕТА НЕКРУГЛОСИММЕТРИЧНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

При использовании светильников с несимметричными КСС, параметры которых задаются двумя, тремя и более кривыми, зависимости $I(\alpha)$ при разных углах β по паспортным КСС $I = I(\alpha)$ для двух углов β_0 и β_1 искомые значения можно определить по формуле

$$I(\alpha, \beta) = \frac{\beta - \beta_1}{\beta_0 - \beta_1} I_1(\alpha) + \frac{\beta - \beta_0}{\beta_1 - \beta_0} I_2(\alpha).$$

При заданных в паспорте кривых от света $I = I(\alpha)$ для трех углов β : $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ искомые значения $I(\alpha, \beta)$ определяются по формуле

$$I(\alpha, \beta) = \frac{(\beta - \beta_1)(\beta - \beta_2)}{(\beta_0 - \beta_1)(\beta_0 - \beta_2)} I_1(\alpha) + \frac{(\beta - \beta_0)(\beta - \beta_2)}{(\beta_1 - \beta_0)(\beta_1 - \beta_2)} I_2(\alpha) + \\ + \frac{(\beta - \beta_0)(\beta - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_0)(\beta_2 - \beta_1)} I_3(\alpha),$$

где $I_1(\alpha), I_2(\alpha), I_3(\alpha)$ – значения силы света для искомого угла по паспортным графикам.

При наличии большого числа графических зависимостей $I = I(\alpha)$ для различных значений β в паспорте или каталоге на светильник используются следующие формулы:

$$I(\alpha, \beta) = \sum_{k=1}^N P_{nk}(\beta) \cdot I_k(\alpha);$$

$$P_{nk}(\beta) = \frac{(\beta - \beta_0) \dots (\beta - \beta_{k-1})(\beta - \beta_{k+1}) \dots (\beta - \beta_n)}{(\beta_k - \beta_0) \dots (\beta_k - \beta_{k-1})(\beta_k - \beta_{k+1}) \dots (\beta_k - \beta_n)}.$$

Типовые кривые силы света отечественных круглосимметричных светильников ($\Phi = 1000$ лм)

α_1 градусы	$I\alpha =$ const	$I\alpha = I_0 \cos(n\alpha); \alpha < 90^\circ/n$										$I\alpha = I_0 \sin(n\alpha)$			$I\alpha = I_0 \{\cos\alpha / \cos[\theta \sin^m(n\alpha)]\}$		
		$n = 0,7841$	$n = 1$	$n = 1,0374$	$n = 1,1038$	$n = 1,2928$	$n = 1,5109$	$n = 1,65$	$n = 1,7582$	$n = 2,0402$	$n = 2,3683$	$n = 2,7473$	$n = 2,91$	$n = 1$	$\Theta = 70^\circ$ $m = 1,2$ $n = 1,66$	$\Theta = 78,3^\circ$ $m = 1,4$ $n = 1,39$	$\Theta = 84,4^\circ$ $m = 1,5$ $n = 1,2$
	M	Д-1	Д	Д-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г	Г-3	К-1	К-2	К-3	К	С	Л(Ш-1)	Л-Ш(Ш-2)	Ш(Ш-3)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	159,2	233,4	330,0	295	377,3	503	670,7	800	894,2	1192	1583	2120	2400	0	154,8	119,6	78,3
5	159,2	232,9	328,7	293,8	375,5	499,8	664,8	791,7	883,8	1173	1549	2062	2323	17,9	155,5	119,0	78,6
10	159,2	229,2	325	290,2	370,3	490,2	647,5	767,1	852,5	1118	1449	1893	2097	35,6	158,2	118,6	79,4
15	159,2	228,5	318,8	284,2	361,6	474,4	618,5	726,5	801,1	1026	1288	1595	1737	53,1	164,5	120,2	81,4
20	159,2	224,7	310,1	275,9	349,8	452,7	579,5	670,9	731,2	902	1052	1261	1265	70,1	175,5	126,0	81,7
25	159,2	220	299,1	265,3	334,3	425,1	530,2	601,5	643,8	750	810	832	712	86,6	190,7	134,0	83,3
30	159,2	214,1	285,8	252,5	316	392,1	471,4	519,6	541,3	574	515	249	113	102,5	210,8	145,0	87,2
35	159,2	207,1	270,3	237,7	294,7	354,1	404,7	426,9	439,9	380	196	0	0	117,6	235,1	159,6	94,8
40	159,2	199,3	252,9	221	270,7	311,7	330,9	325,4	301	174	0	0	0	131,8	261,8	180,4	105,4
45	159,2	190,6	233,3	202,4	244,2	265,3	251,4	217,2	168,8	0	0	0	0	145,0	281,6	209,7	121,3
50	159,2	180	212,1	182,1	215,4	215,5	167,3	104,4	32,6	0	0	0	0	157,0	282,1	243,3	137,1
55	159,2	170,5	189,3	160,4	184,6	162,9	81,8	0	0	0	0	0	0	168,0	257,2	269,7	162,0
60	159,2	159,2	165	137,4	152	108,3	0	0	0	0	0	0	0	201,9	212,9	275,0	199,0

α_1 градусы	$I\alpha =$ const	$I\alpha = I_0 \cos(n\alpha); \alpha < 90^\circ/n$										$I\alpha = I_0 \sin(n\alpha)$			$I\alpha = I_0 \{\cos\alpha/\cos[\theta \sin^m(n\alpha)]\}$		
		$n = 0,7841$	$n = 1$	$n = 1,0374$	$n = 1,1038$	$n = 1,2928$	$n = 1,5109$	$n = 1,65$	$n = 1,7582$	$n = 2,0402$	$n = 2,3683$	$n = 2,7473$	$n = 2,91$	$n = 1$	$\Theta = 70^\circ$ $m = 1,2$ $n = 1,66$	$\Theta = 78,3^\circ$ $m = 1,4$ $n = 1,39$	$\Theta = 84,4^\circ$ $m = 1,5$ $n = 1,2$
	M	Д-1	Д	Д-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г	Г-3	К-1	К-2	К-3	К	С	Л(Ш-1)	Л- Ш(Ш-2)	Ш(Ш-3)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
65	159,2	147,1	139,5	113,2	118,2	52,6	0	0	0	0	0	0	0	185,8	161,7	247,6	230,0
70	159,2	134,3	112,9	88,1	83,1	0	0	0	0	0	0	0	0	192,6	113,6	194,0	252,0
72	159,2	129,0	102	77,9	68,9	0	0	0	0	0	0	0	0	195,0	95,6	167,0	243,2
74	159,2	123,6	91	67,5	54,6	0	0	0	0	0	0	0	0	197,1	79,4	139,0	225,0
75	159,2	121	85,4	62,3	47,4	0	0	0	0	0	0	0	0	198	71,5	125,2	212,3
76	159,2	118,1	79,8	57,1	40,2	0	0	0	0	0	0	0	0	199,0	63,8	111,1	199,0
78	159,2	112,6	68,6	46,6	25,7	0	0	0	0	0	0	0	0	199,0	49,1	84,5	165,5
80	159,2	106,9	57,3	36,0	11,2	0	0	0	0	0	0	0	0	201,9	35,8	60,4	127,7
82	159,2	101,2	45,9	25,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	203,0	23,8	39,5	89,1
84	159,2	95,4	34,5	14,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	203,9	13,8	22,5	53,6
85	159,2	92,5	28,7	9,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	204,2	10,0	16,2	39,0
86	159,2	89,6	23	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	204,5	6,2	10,1	25,0
88	159,2	83,6	11,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	204,9	1,6	2,5	6,4
90	159,2	77,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	205,0	0	0	0

ИНДЕКС ПОМЕЩЕНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТИЛЬНИКОВ

Индекс помещения i при отношении $A/B \leq 3$

Таблица П4.1

Площадь помещения S , м ²	Значение i при расчетной высоте h , равной, м														
	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10,00
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,9	0,8	0,76	0,76	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
20	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-
25	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-
30	1,2	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	-	-	-	-	-
40	1,5	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	-	-	-	-
50	1,7	1,5	1,2	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	-	-	-
60	1,7	1,7	1,5	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	-	-	-
70	2,0	1,7	1,5	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	-	-
80	2,25	2,0	1,7	1,5	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	-	-
90	2,2	2,0	1,7	1,5	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	-
100	2,5	2,2	2,0	1,7	1,5	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	-
120	2,5	2,2	2,0	2,0	1,7	1,5	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
150	3,0	2,5	2,2	2,2	2,0	1,7	1,5	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6

Площадь помещения S , м	Значение i при расчетной высоте h , равной, м														
	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10,00
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
200	3,5	3,0	2,5	2,5	2,2	2,0	1,7	1,5	1,25	1,25	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
250	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,2	2,0	1,7	1,5	1,5	1,25	1,1	1,0	0,9	0,8
300	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,2	2,0	1,7	1,75	1,5	1,25	1,1	1,0	0,9	0,8
350	4,0	4,0	3,5	3,5	3,0	2,5	2,2	2,0	1,75	1,75	1,5	1,25	1,1	1,0	0,9
400	5,0	4,0	4,09	3,5	3,0	2,5	2,5	2,25	1,75	1,75	1,5	1,25	1,25	1,1	1,0
450	5,0	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,2	2,0	1,75	1,75	1,5	1,25	1,1	1,0
500	-	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	1,75	1,5	1,25	1,2	1,1
600	-	-	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,25	2,0	2,0	1,75	1,5	1,2	1,1
700	-	-	5,0	5,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,25	2,0	1,75	1,5	1,5	1,25
800	-	-	-	5,0	5,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,25	2,0	1,75	1,5	1,25
900	-	-	-	-	5,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,25	2,0	1,75	1,5	1,5
1000	-	-	-	-	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,25	2,0	1,7	1,5
1200	-	-	-	-	-	5,0	4,0	3,5	3,5	3,0	2,5	2,25	2,0	1,7	1,75
1400	-	-	-	-	-	5,0	4,0	4,0	3,5	3,5	3,0	2,5	2,25	2,0	1,75
1600	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0
1800	-	-	-	-	-	-	5,0	5,0	4,0	3,5	3,5	3,0	2,5	2,2	2,0
2000	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,25
2500	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5
3000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5

3500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	5,0	4,0	3,5	3,0	3,0
4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0	4,0	3,5	3,0
4500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0	3,5	3,0
5000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0	4,0	3,5
6000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0	3,5
7000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0	4,0
8000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0
9000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	4,0
10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0

Таблица П4.2

Индекс помещения i при отношении $A/B \leq 3$

A/B	Значение i при расчетной высоте h , м																
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
3-4	-	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	3,0	3,5	4,0
5-6	-	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	3,0	4,0
7-9	-	-	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	3,5
10	-	-	-	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,25	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0
15	-	-	-	-	0,5	0,5	0,6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5
20	-	-	-	-	-	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,25
30	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,25	1,5	1,75
40-50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,25	1,5

Таблица П4.3

Приблизительные значения коэффициентов отражения стен и потолка

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

Таблица П4.4

Коэффициент использования светильников η с типовыми КСС

Тип КСС	Значение η , %																							
	при $\rho_{\text{п}} = 0,7$; $\rho_{\text{с}} = 0,5$; $\rho_{\text{р}} = 0,3$ и i , равным						при $\rho_{\text{п}} = 0,7$; $\rho_{\text{с}} = 0,5$; $\rho_{\text{р}} = 0,1$ и i , равным						при $\rho_{\text{п}} = 0,7$; $\rho_{\text{с}} = 0,3$; $\rho_{\text{р}} = 0,1$ и i , равным						при $\rho_{\text{п}} = \rho_{\text{с}} = 0,5$; $\rho_{\text{р}} = 0,3$ и i , равным					
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	35	50	61	73	83	95	34	47	56	66	75	86	26	36	46	56	67	80	32	45	55	67	74	84
Д-1	36	50	58	72	81	90	36	47	56	63	73	79	28	40	49	59	68	74	36	48	57	66	76	85
Д-2	44	52	68	84	93	103	42	51	64	75	84	92	33	43	56	74	80	76	42	51	65	71	90	85
Г-1	49	60	75	90	101	106	48	57	71	82	89	94	42	52	69	78	73	76	45	56	65	78	76	84
Г-2	58	68	82	96	102	109	55	64	78	86	92	96	48	60	73	84	90	94	55	66	80	92	96	103
Г-3	64	74	85	95	100	105	62	70	79	80	90	93	57	66	76	84	84	91	63	72	83	91	96	100
К-1	74	83	90	96	100	106	69	76	83	88	91	92	65	73	81	86	89	90	70	78	86	92	96	100

K-2	75	84	95	104	108	115	71	78	87	95	97	100	67	75	84	93	97	100	72	80	91	99	103	108
K-3	76	85	96	106	110	116	73	80	90	99	99	102	68	77	86	95	98	101	74	83	93	101	106	170
Д	32	49	59	71	83	91	31	46	55	65	74	83	24	40	50	62	71	77	32	47	57	69	79	90
М	31	43	53	63	72	80	23	36	45	56	65	75	17	29	38	46	58	67	16	28	38	45	55	65
Д-1	34	47	54	63	70	77	27	40	48	55	65	73	27	35	42	52	61	68	21	33	40	49	58	66
Д-2	40	48	61	74	82	84	33	42	52	69	75	86	28	36	48	63	75	81	25	33	47	61	70	78
Г-1	44	53	69	77	83	80	41	48	64	76	70	88	35	45	60	73	68	77	34	44	56	71	68	74
Г-2	53	63	76	85	90	94	48	58	72	83	86	93	43	54	68	79	85	90	43	53	66	77	82	86
Г-3	61	68	78	84	88	91	57	65	75	83	86	90	53	62	73	80	84	86	53	61	71	78	82	85
K-1	68	77	83	86	89	90	64	73	80	86	88	90	62	71	77	83	86	88	60	69	77	84	85	86
K-2	71	78	87	93	98	99	68	74	84	92	93	99	68	72	80	89	93	97	65	71	79	88	92	95
K-3	72	79	88	94	97	99	68	76	85	93	95	99	64	73	83	90	94	97	64	72	81	88	91	94
Л	30	45	55	65	70	78	24	40	49	60	70	76	20	35	44	48	65	69	17	33	42	53	63	70
Л-III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	26	35	47	58	68
III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	17	25	36	49	62

102

**Коэффициент использования светового потока светильников (любого типа),
излучаемого в верхнюю полусферу**

Светильники Коэффициент отражения	Потолочные												Подвесные											
	70												70											
	50			30			50			30			50			30			50			30		
$\rho_{\text{П}}, \%$																								
$\rho_{\text{С}}, \%$																								
$\rho_{\text{Р}}, \%$	30	10		30	10		30	10		30	10		30	10		30	10		30	10		30	10	
Значение i	Коэффициент использования, %																							
0,5	26	25		20		19	17	13	6	19	18	15	14	11		50		30		50		30		30
0,6	30	28		24		23	20	16	8	21	22	18	18	14										
0,7	34	32		28		27	22	19	10	27	26	22	21	16										
0,8	38	36		31		30	24	21	11	31	29	25	25	18										
0,9	40	38		34		33	26	23	12	34	32	28	28	20										
1,0	43	41		37		35	28	25	13	37	35	32	30	22										
1,1	46	43		39		37	30	26	14	40	37	34	33	24										
1,25	49	46		42		40	32	28	15	43	41	38	36	26										
1,5	54	49		47		44	34	31	17	48	44	42	40	29										
1,75	57	52		51		47	36	33	18	52	48	46	43	31										
2,0	60	54		54		50	38	35	19	55	50	50	46	33										
2,25	62	56		57		52	39	37	20	58	52	53	49	35										
2,5	64	58		59		54	40	38	21	60	54	55	51	36										
3,0	68	60		63		57	42	40	22	64	57	59	54	39										
3,5	70	62		66		59	43	41	23	67	60	62	56	40										
4,0	72	64		68		61	45	42	24	69	61	65	58	42										
5,0	75	66		72		64	46	44	25	73	64	69	62	44										

Световой поток и световая энергия

Световой поток Φ – мощность световой энергии Q , т.е. видимого излучения, оцениваемого по световому ощущению, которое оно производит на средний человеческий глаз. Эффективная величина светового потока измеряется в люменах:

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}, \text{ лм.}$$

Согласно стандартам Международной комиссии по освещению (МКО), световой поток определяется действием на селективный приемник, спектральная чувствительность которого нормализована функциями относительной спектральной световой эффективности излучения (монохроматического): $V(\lambda)$ – для дневного зрения (в условиях яркости и адаптации $L \geq 10 \text{ кд/м}^2$) и $V^1(\lambda)$ – для ночного зрения ($L \leq 0,01 \text{ кд/м}^2$).

Один люмен (лм) численно равен световому потоку, излучаемому в единичном телесном угле (стерадиан) равноинтенсивным (равномерным) точечным источником с силой света в одну канделу (кд).

Мерой телесного угла с вершиной в центре сферы является отношение площади сферической поверхности dA , на которую он опирается, к квадрату радиуса сферы r . За единицу телесного угла – стерадиан (ср) принят центральный телесный угол, вырезающий участок сферы, площадь которого равна квадрату его радиуса.

Установлено, что 1 Вт потока монохроматического излучения с длиной волны $\lambda = 0,555 \text{ мкм}$ равен 680 лм светового потока. Следовательно, максимальное значение спектральной световой эффективности численно равно $(K_\lambda)_{\text{max}} = 680 \text{ лм/Вт}$. Таким образом, световой поток сложного из-

лучения $\Phi = 680 \int_{\lambda_1=0,38\text{мкм}}^{\lambda_2=0,78\text{мкм}} \phi_e(\lambda)V(\lambda)d\lambda$ и $\Phi = 680 \sum_{i=1}^n V_{\lambda i} \Phi_{e\lambda i}$, где n – число

линий в спектре; $V(\lambda)$ – относительная световая эффективность монохроматического излучения; $680 \phi_{e\lambda} V_\lambda d\lambda$ и $680 V_\lambda \Phi_{e\lambda}$ – световой поток монохроматического излучения с длиной волны λ .

Световая эффективность K излучения (лм/Вт) с заданным спектральным составом $\phi_e(\lambda)$ определяется отношением светового потока к соответствующему потоку излучения

$$K = \frac{\Phi}{\Phi_e} = \frac{680 \int_{0,38}^{0,78} \phi_e(\lambda)V(\lambda)d\lambda}{\int_{\lambda_i}^{\lambda_j} \phi_e(\lambda)d\lambda}.$$

Относительная световая эффективность V сложного излучения

$$V = \frac{K}{(K_\lambda)_{\max}} = \frac{\int \phi_e V(\lambda) d\lambda}{\int \phi_e(\lambda) d\lambda}.$$

Световая отдача (лм/Вт) источника света определяется отношением светового потока и мощности источника света $\eta = \frac{\Phi}{P}$.

Световая энергия излучения определяется произведением светового потока на время его действия при $\Phi = \text{const}$. $Q = \Phi t$; при $\Phi(t) = \text{var}$ $Q = \int_{t_1}^{t_2} \Phi(t) dt$, где $\Phi(t)$ – мгновенное значение светового потока. Единица световой энергии – люмен секунда (лм·с).

Применительно к импульсным источникам световую энергию называют *светосуммой*. Световую энергию импульсного источника излучения с переменным во времени световым потоком – светосилу, лм·с, определяют за время вспышки t

$$Q = \int_0^t \Phi(t) dt.$$

Световую отдачу вспышки (лм/Вт) принято определять отношением световой энергии импульса к энергии, запасенной в конденсаторе,

$$\eta = \frac{\int_0^t \Phi(t) dt}{c V_0^2 / 2},$$

где c – емкость питающего конденсатора, V_0 – напряжение на конденсаторе в начале вспышки.

Сила света I – это пространственная плотность светового потока в заданном направлении: а) для сложного излучения $I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$, б) для моно-

хроматического $dI_\lambda = \frac{d^2\Phi_\lambda}{d\Omega}$, где $d\Phi$ – световой поток; $d\Omega$ – телесный угол (стерадиан – ср).

Единица силы света – кандела (candela) – сила света, излучаемого в перпендикулярном направлении $1/(6 \cdot 10^5) \text{ м}^2$ поверхности черного тела при температуре затвердевания платины ($T = 2045 \text{ К}$) и давлении $101\,325$ паскалей (Па) $1 \text{ кд} = 1 \text{ лм} \cdot \text{ср}^{-1}$.

Пространственная плотность светового потока, как правило, неодинакова по различным направлениям пространства, поэтому значение силы

света определяется направлением. Для источников света с симметричным светораспределением все значения силы света в любом направлении угла α к оси симметрии источника одинаковы. Следовательно, так же как сила излучения сила света симметричного источника однозначно определяется и индексируется углом α . Сила света несимметричного источника света определяется углами α и β .

Распределение в пространстве потока излучения точечного источника однозначно определяется его *фотометрическим телом* – частью пространства, ограниченного поверхностью, проведенной через концы радиус-векторов $I(\alpha)$ силы излучения.

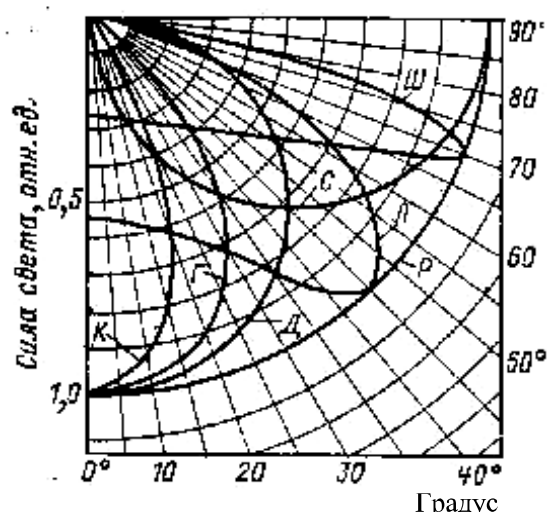


Рис. П5.1. Графики типовых КСС

Светораспределение любого круглосимметричного СП можно провести по одной меридиальной КСС, а для симметричных СП необходимо иметь семейство меридиальных КСС для различных меридиальных плоскостей, число которых выбирается, исходя из формы фотометрического тела.

Для СП с двумя плоскостями симметрии (для светильников с линейными лампами и прожекторов) обычно ограничиваются КСС только в двух главных плоскостях – продольной и поперечной (рис. П5.1). Однако часто необходимо знать КСС СП не только в

нижней, но и в верхней полусфере пространства.

По светораспределению СП в зависимости от соотношения светового потока Φ_v , направляемого в нижнюю полусферу, и полного светового потока светильника $\Phi_{св}$ подразделяются на пять классов: П, Н, Р, В, О (табл. П5.1).

КСС СП указанных классов в зависимости от формы КСС подразделяются на несколько типов: К, Г, Д, Л, Ш, М, С (см. рис. П5.1).

Таблица П5.1

Класс светильника по светораспределению	Характер распределения света	$\Phi_v / \Phi_{св}$, %
П	Прямого света	Свыше 80
Н	Преимущественно прямого света	60 – 80
Р	Рассеянного света	40 – 60
В	Преимущественно отраженного света	20 – 40
О	Отраженного света	20

Сечение фотометрического тела плоскостью, проходящей через начало координат (через точечный источник), определяет *кривую силы света* (КСС) источника излучения для данной плоскости сечения. Если фотометрическое тело имеет ось симметрии, источник излучения характеризует КСС в продольной плоскости.

Световой поток источника света определяется по КСС, если фотометрическое тело имеет ось симметрии. Если КСС $I(\alpha)$ задана графиком или таблицей, расчетная формула светового потока источника определяется выражением

$$\Phi = \sum_{i=1}^n I_{\alpha i} \Delta \Omega_{i,i+1},$$

где $I_{\alpha i}$ – среднее значение силы света в заданном телесном угле;

$$\Delta \Omega_{i,i+1} = 2\pi(\cos \alpha_i - \cos \alpha_{i+1}).$$

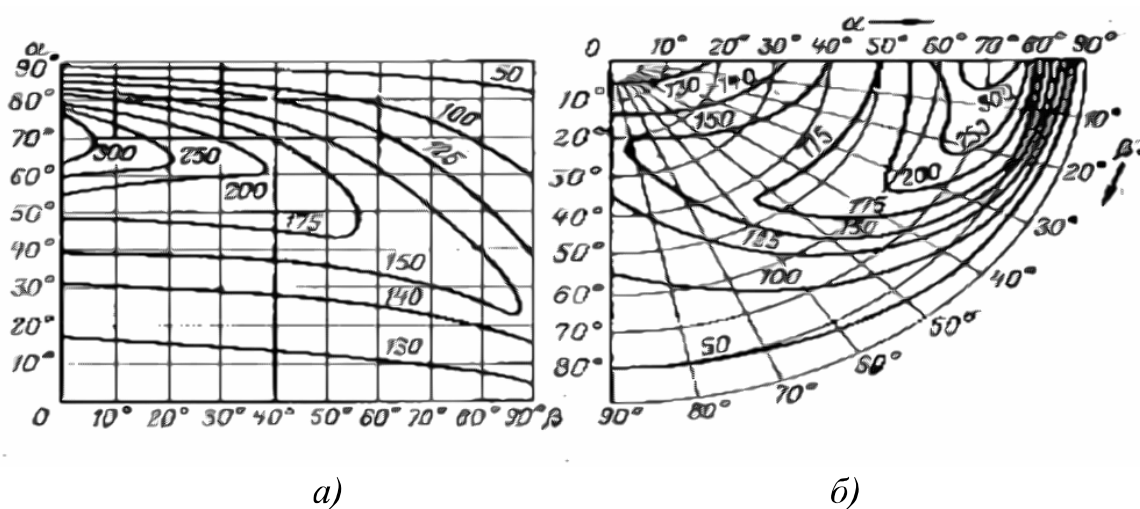
Примерные графики КСС несимметричных источников света показаны на рис. П5.2 в декартовой (а) и полярной (б) системах координат.

Освещенность – это плотность светового потока по освещаемой поверхности, определяемая в зависимости от вида излучения по формулам:

а) для сложного излучения $E = \frac{d\Phi}{dA_0}$ или $E = 680 \int_{0,38}^{0,78} \ell_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda$;

б) для монохроматического излучения $dE_\lambda = \frac{d^2\Phi_\lambda}{dA_0}$, или $dE_\lambda = 680 \ell_{e\lambda} V_{e\lambda} d\lambda$,

где $\ell_{e\lambda}$ – спектральная плотность облученности ($\text{Вт/м}^2 \cdot \text{мкм}^{-1}$); dA_0 – площадь освещаемой поверхности.



Единицей освещенности – *люкс* (лк) принято считать освещенность, создаваемую световым потоком в 1 люмен (лм), равномерно распределенным по поверхности, площадь которой равна одному квадратному метру:

$$1 \text{ лк} = \frac{1 \text{ лм}}{1 \text{ м}^2}.$$

Световую энергию, упавшую на единицу площади поверхности освещаемого тела, называют *экспозицией* (количеством освещения) H и определяют путем интегрирования мгновенного значения освещенности

$$H = \int_{t1}^{t2} E(t) dt,$$

где $E(t)$ – мгновенное значение освещенности.

В частном случае при $E(t) = \text{const}$ получим $H = Et$, (лк·с).

Экспозицией определяют меру реакции приемника во всех фотохимических процессах, в которых число молекул, вступающих в реакцию, определяется не только плотностью эффективного потока по облучаемой поверхности, но также и длительностью процесса.

Яркость поверхности L выражается либо через силу света в заданном направлении, либо через световой поток: $L_{\alpha\beta} = \frac{dI_{\alpha\beta}}{\cos \alpha \cdot dA}$, или

$$L_{\alpha\beta} = \frac{d^2\Phi_{\alpha\beta}}{\cos \alpha \cdot dA \cdot d\Omega_{\alpha\beta}}, \text{ где } d\Phi_{\alpha\beta} - \text{световой поток в пределах телесного}$$

угла $d\Omega_{\alpha\beta}$, излучаемый элементарным участком dA поверхности излучателя; $\cos \alpha \cdot dA$ – площадь проекции элементарного излучателя dA на плоскость, перпендикулярную оси телесного угла $d\Omega_{\alpha\beta}$.

Из выражения для $L_{\alpha\beta}$ следует, что яркость любого элементарного участка световой поверхности определяется соотношением силы света $dI_{\alpha\beta}$ излучающего элемента dA к площади его проекции $\cos \alpha \cdot dA$ на плоскость, перпендикулярную заданному направлению α и β . Яркость объекта наблюдения определяет уровень зрительного ощущения.

Светимость поверхности M – это плотность излучаемого (отражаемого) светового потока по площади поверхности излучающего (отражающего) тела:

$$M = \frac{d\Phi}{dA}, \text{ или } M = \int L(\alpha, \beta) \cos \alpha d\Omega \text{ и } M = 680 \int m_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda,$$

где $m_e(\lambda) = \frac{dm_{e\lambda}}{d\lambda}$ – спектральная плотность энергетической светимости излучающей поверхности; $L(\alpha, \beta)$ – яркость излучающей (отражающей)

поверхности; α – угол между нормалью к dA и осью $d\Omega$. Единица светимости – лм/м^2 . Светимость можно также характеризовать плотностью светового потока, отраженного от диффузной поверхности и прошедшего через рассеивающие материалы (молочное и матированное стекло, пластмассы) в соответствии с выражениями:

а) для отраженного излучения $M_\rho = \frac{d\Phi_\rho}{dA} = \rho \frac{d\Phi}{dA} = \rho E$;

б) для излучения, прошедшего через рассеивающие материалы,

$$M_\tau = \frac{d\Phi_\tau}{dA} = \tau \frac{d\Phi}{dA} = \tau E,$$

где ρ – коэффициент отражения; τ – коэффициент пропускания.

Двойственность световоспринимающего аппарата глаза, а также различие спектральной чувствительности палочек и колбочек приводят к изменению спектральной и интегральной чувствительности глаза в функции уровня яркости и спектра излучения, как это показано на рис. П5.3. Эти процессы называют яркостной и цветовой адаптацией.

Адаптация – это приспособление зрительного аппарата к заданной яркости и цветности поля зрения путем регулирования концентрации молекул родопсина и иодопсина в палочках и колбочках, а также перестройка рецептивных полей и экранирование сетчатки пигментом при высоких яркостях.

Функции спектральной световой эффективности излучения $V(\lambda)$ для каждого уровня яркости на интервале $0,01 \leq L \leq 10 \text{ кд/м}^2$ определяется уровнем адаптации глаза. Наличие эффекта неодинакового зрительного ощущения разнспектральных излучений при одинаковой их яркости $L \leq 10 \text{ кд/м}^2$ привело к введению понятия *эквивалентной яркости излучения* заданного спектрального состава, определяемой как яркость равносветлого оптически сложного излучения условленного спектрального состава с цветовой температурой $T_{\text{ц}} = 2045 \text{ К}$ (см. рис. П5.3).

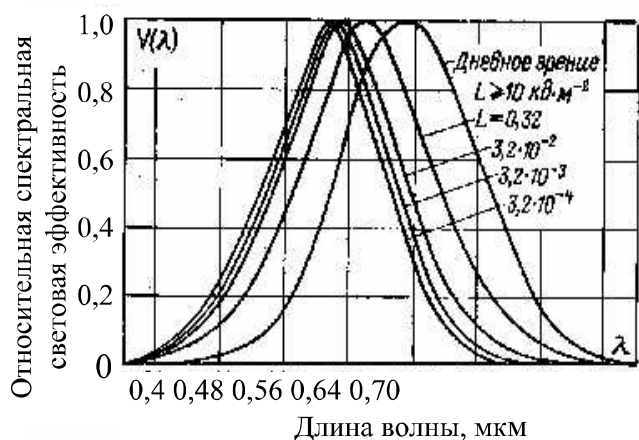


Рис. П5.3. Графики относительной спектральной световой эффективности



Рис. П5.4. Графики эквивалентной яркости

Из графиков рис. П5.4 видно, что при $L = 10^{-2}$ кд/м² эквивалентные яркости синего и красного излучений различаются более чем на порядок.

Эквивалентная яркость излучения $L_{\text{ЭК}}$ определяется по формуле

$$L_{\text{ЭК}} = \kappa \int_{0,38}^{0,78} \ell_e(\lambda) V(\lambda, L_{\text{ЭК}}) d\lambda,$$

где $\kappa = 680$ $\psi(\lambda, L_{\text{ЭК}})$ – функция спектрального состава эталонного излучения и $L_{\text{ЭК}}$; в условиях дневного зрения $\kappa = 680$; $\ell_e(\lambda)$ – спектральная плотность энергетической яркости исследуемого излучения.

Для определения $L_{\text{ЭК}}$ методом приближения сначала определяют $L_{\text{ЭК}}$ по заданной яркости и спектральному составу излучения, а также различных соотношений долей потока излучения h в красной, зеленой и синей зонах видимого спектра и при различных значениях коэффициентов:

$$h_c = \frac{\Delta\Phi_{\text{ес}}}{\Phi_e}; \quad h_z = \frac{\Delta\Phi_{\text{ез}}}{\Phi_e}; \quad h_k = \frac{\Delta\Phi_{\text{ек}}}{\Phi_e},$$

где $\Delta\Phi_{\text{ес}}; \Delta\Phi_{\text{ез}}; \Delta\Phi_{\text{ек}}$ – потоки излучений в синей, зеленой и красной зонах спектра заданного излучения. Суммарный поток излучения определяется суммой элементарных потоков $\Phi_e = \Delta\Phi_{\text{ес}} + \Delta\Phi_{\text{ез}} + \Delta\Phi_{\text{ек}}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

НОРМЫ ОСВЕЩЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК И УЧАСТКОВ РАБОТ

1.1. Для строительных площадок и участков работ необходимо предусматривать общее равномерное освещение. При этом освещенность должна быть не менее 2 лк независимо от применяемых источников света за исключением автодорог, освещенность которых должна быть не менее той, которая указана в табл. П1.4.

Таблица П6.1

Участки строительных площадок и работ	Наименьшая освещенность, лк	Плоскость, в которой нормируется освещенность	Уровень поверхности, на которой нормируется освещенность
1. Автомобильные дороги на строительной площадке	2	Горизонтальная	На уровне проезжей части
2. Железнодорожные пути на строительных площадках	0,5	То же	На поверхности головки рельсов
3. Подъезды к мостам и железнодорожным переездам	10	То же	На поверхности головки рельсов

Продолжение табл. Пб.1

Участки строительных площадок и работ	Наименьшая освещенность, лк	Плоскость, в которой нормируется освещенность	Уровень поверхности, на которой нормируется освещенность
4. Дорожные работы: укладка оснований под дорожные покрытия; устройство дорожных покрытий; укладка железнодорожных и подкрановых путей	10 30	Горизонтальная Горизонтальная	На уровне земли То же
5. Сборка и монтаж строительных и грузоподъемных механизмов: сборка с пригонкой частей (валов, вкладышей, подшипников), разные виды регулировки, смена деталей и т.д.	50	Горизонтальная	По всей высоте сборки
6. Работы внутри технологического оборудования, емкостей, резервуаров, бункеров, аппаратов колонного типа и др.	30*	Вертикальная	На всех уровнях производства работы
7. Испытание технологического оборудования	50	Вертикальная	На рабочих местах
8. Земляные работы, производимые сухим способом землеройными и другими механизмами, кроме устройства траншей и планировки	10	Вертикальная	По всей высоте забоя и по всей высоте разгрузки (со стороны машиниста)
	5	Горизонтальная	
9. Устройство траншей для фундаментов, коммуникаций и т.д.	10	Горизонтальная	На уровне дна траншеи
10. Монтаж конструкций стальных, железобетонных и деревянных (каркасы зданий, мосты, эстакады, фермы, балки и т.д.)	30 30	Горизонтальная Вертикальная	По всей высоте сборки То же
11. Стационарные сварочные аппараты, механические ножницы, гибочные станки для заготовки арматуры.	50	Горизонтальная	На уровне рабочих поверхностей
12. Установка опалубки, лесов и ограждений	30	Горизонтальная	На всех уровнях опалубки, лесов и ограждений

* Предусмотреть повышение уровней освещенности при производстве работ в дневное время до 100 лк.

Продолжение табл. Пб.1

Участки строительных площадок и работ	Наименьшая освещенность, лк	Плоскость, в которой нормируется освещенность	Уровень поверхности, на которой нормируется освещенность
13. Бетонирование: колонн, балок, плит покрытий, мостовых конструкций и т.д.;	30	Горизонтальная	На поверхности бетона
крупных массивов (бетонирование откосов земляных плотин и т.д.)	10	То же	То же
14. Кладка из крупных бетонных блоков, природных камней,	10	Горизонтальная	На уровне кладки
кирпичная кладка, монтаж сборных фундаментов	10	Вертикальная	В плоскости стены
15. Подходы к рабочим местам (лестницы, леса и т.д.)	5	Горизонтальная	На опалубках, площадках и подходах
16. Работы по устройству полов: устройство песчаных, щебеночных, гравийных, глинобетонных, бетонных и асфальтобетонных подстилающих слоев	30	Горизонтальная	На уровне пола в зоне работ
17. Работы по гидроизоляции и теплоизоляции:			
на строительных площадках предприятий различных отраслей промышленности	30	Горизонтальная	На уровне рабочей поверхности
	30	Вертикальная	То же
18. Монтаж трубопроводов и разводка сетей к приборам и оборудованию; установка санитарно-технического оборудования (ванн, раковин и т.д.), установка вентиляторов, кондиционеров, монтаж вентиляционных коробов	30	Вертикальная	На всех уровнях рабочей поверхности
19. Установка контрольно-измерительных приборов	50	Вертикальная	На приборах
20. Подготовка к монтажу (разметка, пробивка проходов) и монтаж электропроводки	30	Вертикальная	На всех уровнях выполнения работ

Участки строительных площадок и работ	Наименьшая освещенность, лк	Плоскость, в которой нормируется освещенность	Уровень поверхности, на которой нормируется освещенность
21. Разделка низковольтных и высоковольтных кабелей, монтаж воронок и муфт, монтаж высоковольтного оборудования и схем вторичной коммутации	100 100	Горизонтальная Вертикальная	То же При монтаже электрооборудования на открытых пространствах освещенность может быть снижена до 50 лк
22. Установка электрических приборов, осветительной арматуры и т.д.: в зданиях;	50	Вертикальная	По всей высоте устанавливаемого оборудования
под открытым небом	30	То же	То же
23. Монтаж и сборка технологического оборудования: станочное оборудование, конвейеры, мостовые краны и т.д.;	50	Горизонтальная	На всех уровнях, где выполняются работы. Необходимы дополнительные переносные или передвижные осветительные средства
громоздкое оборудование (прокатные станы, рольганги, дробильные агрегаты, баки, емкости в химическом производстве, котлы и т.д.)	30	То же	На всех уровнях, где выполняются работы
24. Монтаж и сборка энергетического оборудования (паровые турбины, высоковольтное оборудование, автоматические телефонные станции, гидротурбины, мотор-генераторы, электрооборудование)	50	Горизонтальная	На всех уровнях, где выполняются работы
25. Лесобиржи или склады леса	5	Горизонтальная	На уровне земли

Для участков работ, где нормируемые уровни освещенности должны быть более 2 лк, в дополнение к общему равномерному освещению следует предусматривать общее локализованное освещение.

Для тех участков, на которых возможно только временное пребывание людей, уровни освещенности должны быть снижены до 0,5 лк.

1.2. Освещенность, создаваемая осветительными установками общего освещения на строительных площадках и участках работ внутри зданий, должна быть не менее нормируемой E_n , приведенной в табл. П6.1, вне зависимости от применяемых источников света.

1.3. При проектировании осветительных установок следует вводить в расчет коэффициент запаса по табл. П6.2 при сроке чистки светильников 2 раза в год.

Таблица П6.2

Осветительные приборы	Коэффициент запаса	
	при лампах накаливания	газоразрядных источниках света
Прожекторы и др. световые приборы с усилением силы света 5-кратным и более	1,5	1,7
Светильники	1,3	1,5

1.4. Параметры осветительных установок общего равномерного освещения и схемы расположения световых приборов следует выбирать в соответствии с приложениями 7, 8 и 9.

2. КОНТРОЛЬ УРОВНЯ ОСВЕЩЕННОСТИ

2.1. На строительных площадках и местах производства строительных и монтажных работ внутри зданий должен быть обеспечен контроль освещенности.

2.2. Измерения освещенности производятся применительно к ГОСТ 24940-96 на участках производства работ, на которых уровень освещенности является определяющим в обеспечении условий безопасности или качества работ. Эти участки определяются при разработке проектов производства работ и технологических карт.

2.3. При контроле освещенности на строительных площадках контрольные точки для измерения освещенности следует размечать под световыми приборами и между ними. Расстояние между контрольными точками вне зданий должно быть не более 20 м. Выбор аппаратуры, проведение измерений и обработка результатов осуществляются в соответствии с ГОСТ 24940-96.

Таблица П6.3

**Параметры осветительных установок общего равномерного
освещения при нормируемой освещенности $E_n = 2$ лк**

Ширина освеща- емой площа- ди a , м	Высота про- жек- торных мачт H , м	Рассто- яние между мачта- ми b , м	Устанавливаемый прожектор на мачте			Параметры установки прожектора			Коэффи- циент неравно- мерности $z = \frac{E_{\min}}{E_{\text{ср}}}$	Удель- ная мощ- ность, Вт/м ²	
			Тип	Ко- ли- чес- тво	Мощ- ность ламп, Вт	Высо- та H , м	Угол накло- на про- жек- торов Θ , град	Угол ме- жду оп- тичес- кими ося- ми про- жек- торов τ , град			
Прожекторы с лампами накаливания											
100	15	70	ПЗС-35	6	500	15	15	15	0,60	0,86	
150	20	100	или	10		20	12		18	0,85	0,67
150	30	300	ПЗС-40	10						0,70	0,84
				9							
200		275		10	1000	30	12	20	0,75	0,70	
				9			18				
250		290	ПЗС-45	13			10	15			0,80
			или				17	20			
300		250	ПЗС-50	9			10	15			
				13			17	20			
			9								
Прожекторы с лампами ДРЛ											
75	15	160	ПЗС-45	3	700	15	20	60	0,30	0,35	
100		160		4		40	0,35				
150	20	150	или	7		20	15	20	0,25	0,45	
200	30	180	ПЗС-50	10		30		15	15	0,40	0,40
250		200	16	0,45							
300		140	16	10							0,55
Прожекторы с галогенными лампами типа КГ											
75	20	180	ПЗС-1500-2	3	1500	20	15	30	0,50	0,65	
100		160								0,55	
150		140								0,45	
200		175								0,45	
150	30	230		5		30	15	30	0,65	0,45	
200		210								0,35	
250		190								0,30	
100		300								0,40	

Окончание табл. П6.3

Ширина освеща- емой площа- ди a , м	Высота про- жек- торных мачт H , м	Рассто- яние между мачта- ми b , м	Устанавливаемый прожектор на мачте			Параметры установки прожектора			Коэффи- циент неравно- мерности $z = \frac{E_{\min}}{E_{\text{ср}}}$	Удель- ная мощ- ность, Вт/м ²	
			Тип	Ко- ли- чес- тво	Мощ- ность ламп, Вт	Высо- та H , м	Угол накло- на про- жек- торов Θ , град	Угол ме- жду оп- тичес- кими ося- ми про- жек- торов τ , град			
150	20	200	ИСУ-01× 2000/ К-63-01	3	2000	20	12	50	0,56	0,40	
200		160							0,68	0,38	
250	30	280		6		30			0,71	0,44	
300		230							0,68	0,35	
200	30	390	ИСУ-02× 5000/ К-03-12	3	5000	30	12	45	0,70	0,38	
250		360								0,34	
300		260								0,38	
350		210								0,41	
Прожекторы с лампами типа ДРИ											
150	20	240	ПЗС-35 или ПСМ-40	7	700	20	12	15	0,50	0,27	
200		200							0,60	0,25	
250		260		0,55					0,21		
300	30	270	10	30		10	0,75	0,18			
350		220					0,55	0,18			
Светильники с ксеноновыми лампами											
200	30	180	"Аревик" или ККУ	2	20000	0,30	30		0,30	2,2	
200	50	275				50			30	0,50	1,5
250		250									1,3
300		220									1,2
350		175									1,3
200	30	270				30	60	0,50	1,5		
250		230							1,4		
300		205							1,3		
350		155							1,5		
200	50	320	ОУКсН			50	15		0,50	1,25	
250		310								1,05	
300		300								0,9	
350		290								0,9	
400		275								0,75	

Примечание. Данные таблицы приведены для прямоугольного расположения световых приборов. При шахматном расположении световых приборов для площадок шириной до 200 м расстояние между опорами одного и того же ряда допускается уменьшить на 10 %.

Таблица П6.4

**Параметры осветительных установок общего равномерного
освещения при нормируемой освещенности $E_n = 0,5$ лк**

Ширина освеща- емой площа- ди, a , м	Высо- та про- жек- тор- ных мачт H , м	Рас- сто- яние меж- ду мач- тами b , м	Устанавливаемый прожектор на мачте			Параметры установки прожектора			Коэффи- циент не- равно- мерности $z = \frac{E_{\min}}{E_{\text{ср}}}$	Удель- ная мощ- ность, Вт/м ²	
			Тип	Ко- ли- чес- тво	Мощ- ность ламп, Вт	Высо- та H , м	Угол накло- на про- жек- торов Θ , град	Угол ме- жду оп- тичес- кими ося- ми про- жек-торов τ , град			
Прожекторы с лампами накаливания											
150	20	400	ПЗС-45 или ПСМ-50	18	1000	20	12	10	0,45	0,60	
200		350								0,51	
250		300								0,48	
150	30	450				30			0,30	0,54	
200		410								0,44	
250		390								0,40	0,37
300		330								0,40	0,36
350		300								0,50	0,34
Прожекторы с галогенными лампами типа КГ											
100	20	450	ИСУ-01×	2	2000	20	14	20	0,50	0,18	
150		400								0,13	
200	30	450	2000/ К-63-01	4		30	10	10	0,55	0,18	
250		400								0,16	
300		450								5	0,18
200		480	ИСУ-02×	2			5000	12	90	0,40	0,21
250		460									0,18
300		440									0,15
350		400									0,15
Прожекторы с лампами типа ДРЛ											
150	20	280	ПЗС-45 или ПСМ-50	6	700	20	10	30	0,30	0,20	
200		240							0,40	0,18	
250	30	400		14		30		12	0,45	0,18	
300		360									
350		310									

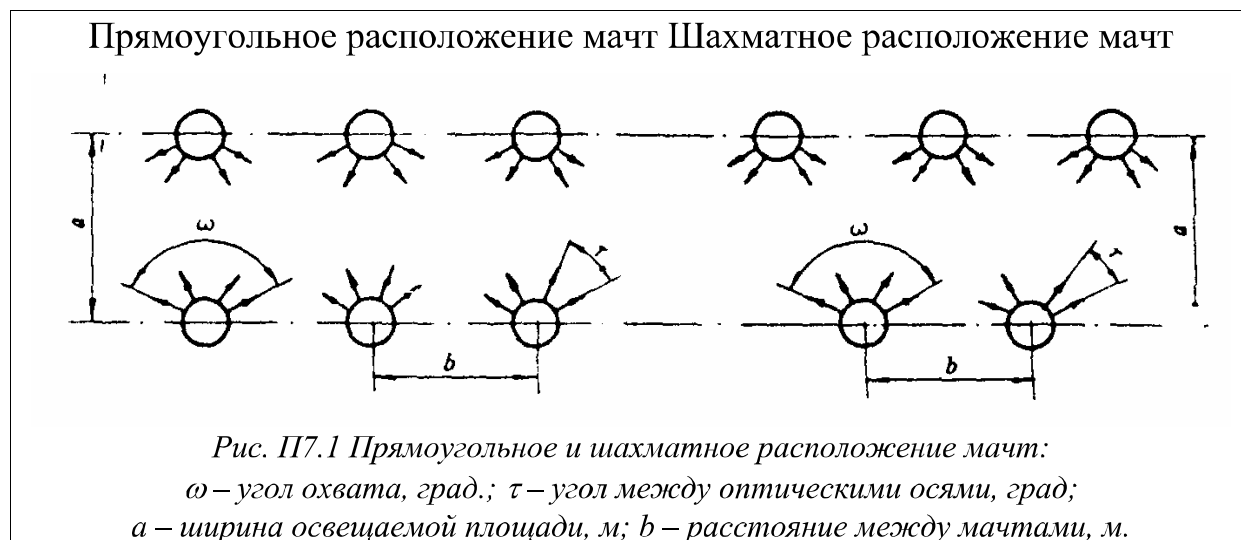
Продолжение табл. П6.4

Ширина освещаемой площади, a , м	Высота прожекторных мачт H , м	Расстояние между мачтами b , м	Устанавливаемый прожектор на мачте			Параметры установки прожектора			Коэффициент неравномерности $z = \frac{E_{\min}}{E_{\text{ср}}}$	Удельная мощность, Вт/м ²			
			Тип	Количество	Мощность ламп, Вт	Высота H , м	Угол наклона прожекторов Θ , град	Угол между оптическими осями прожекторов τ , град					
Пржекторы с лампами типа ДРИ													
150	20	375	ПЗС-45 или ПСМ-40	7	700	20	12	15	0,30	0,17			
200		350								0,14			
250		300							0,35	0,13			
300		250							0,30	0,13			
350	30	250				30			0,40	0,11			
Светильники с ксеноновыми лампами													
200	30	840	ОУКсН	2	20000	30	12	90	0,30	0,48			
250		750								0,43			
300		680					10		0,40	0,39			
350		620								0,37			
200	50	1200				50	12	60	0,65	0,33			
250		1150							0,60	0,26			
300		1100					10			0,23			
350		1050								0,21			
200	30	750	"Аревик" или ККУ			30			0,30	0,53			
250		600								0,54			
300		400							0,25	0,66			
200	50	900				50	25		0,60	0,45			
250		800								0,48			
300		650								0,42			
350		550								0,41			
150	30	630	СКсН		10000	30	16	60	0,40	0,46			
200		600							0,45	0,35			
250		450					14			0,38			
150	50	800				50	16		0,50	0,50			
200		700								0,37			
250		675					14		0,55	0,30			
300		600								0,27			
350		550								0,24			

Ширина освещаемой площади, a , м	Высота прожекторных мачт H , м	Расстояние между мачтами b , м	Устанавливаемый прожектор на мачте			Параметры установки прожектора			Коэффициент неравномерности $z = \frac{E_{\min}}{E_{\text{cp}}}$	Удельная мощность, Вт/м ²
			Тип	Количество	Мощность ламп, Вт	Высота H , м	Угол наклона прожекторов Θ , град	Угол между оптическими осями прожекторов τ , град		
100	15	160	СПКс-2-10000	1	10000	15	8	50	0,55	1,2
150		14					0,83			
200		8		0,8						
250							200			0,79
300							190			0,67
200	20	190				1	8	0,45	0,7	
250		180				2	10	0,55	0,5	
300		170		8			0,50	0,4		
350		220		3		10	0,50	0,5		
400		250				8	30	0,55	0,6	
450		300					50		0,6	
500		310		0			0,65			
200	30	320		2		30	8	60	0,40	0,63
250		300								0,5
300		280								0,45
350		270		3			0	0,43		
400		260						0,38		
450		220						0,4		
500		270						0,44		

Примечание. Данные таблицы приведены для прямоугольного расположения световых приборов. При шахматном расположении световых приборов для площадок до 200 м расстояние между опорами одного и того же ряда допускается уменьшить на 10 %.

СХЕМЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ СВЕТОВЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ОБЩЕГО РАВНОМЕРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ



МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПРОЖЕКТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Расчет прожекторной установки сводится к определению:

- количества прожекторов, подлежащих установке для создания заданной освещенности;
- мест установки прожекторных мачт и прожекторов;
- высоты установки прожекторов над освещаемой поверхностью;
- углов наклона прожекторов в вертикальной и разворота в горизонтальной плоскостях.

Расчет проводится на основе нормируемой освещенности в горизонтальной плоскости.

Ориентировочное количество прожекторов n , подлежащее установке для создания на площади S требуемой освещенности $E_p = KE_n$ (K – коэффициент запаса, E_n – нормируемая освещенность),

$$n = \frac{mE_p S}{P_{\text{л}}},$$

где m – коэффициент, учитывающий световую отдачу источников света, КПД прожекторов и коэффициент использования светового потока, принимается по таблице; $P_{\text{л}}$ – мощность лампы применяемых типов прожекторов.

Более точное определение количества необходимых к установке прожекторов проводится путем компоновки шаблонов кривых изолукс на плане освещаемой территории или с применением графиков освещенности от групп прожекторов.

Таблица П8.1

Ориентировочные значения коэффициента m

Источник света	Тип прожектора или светильника	Ширина освещаемой площади, м	Значения m при расчетной освещенности, лк	
			0,5 – 1,5	2,0 – 30,0
ЛН	ПЗС, ПСМ	75 – 150	0,90	0,30
		175 – 300	0,50	0,25
Галогенные ЛН	ПКН, ИСУ	75 – 125	0,35	0,20
		150 – 350	0,20	0,15
Лампы типа ДРЛ	ПЗС, ПЗМ	75 – 250	0,25	0,13
		275 – 350	0,30	0,15
Лампы типа ДРИ	ПЗС, ПСМ	75 – 150	0,30	0,10
		175 – 350	0,16	0,06
Ксеноновая лампа ДКсТ-20000	ОУКсН ($H = 30$ м)	150 – 175	0,75	0,50
		200 – 350	0,50	0,40
	"Арвик" ($H = 30$ м)	150 – 175	0,90	0,70
		200 – 250	0,70	0,50
Ксеноновая лампа ДКсТ-10000	СКсН ($H = 20-30$ м)	100 – 150	0,55	0,45
		175 – 250	0,40	0,35

Более точное определение количества необходимых к установке прожекторов проводится путем компоновки шаблонов кривых изолукс на плане освещаемой территории или с применением графиков освещенности от групп прожекторов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Таблица П9.1

Минимально допустимая высота установки прожекторов и светильников прожекторного типа

Тип прожектора	Тип лампы	Макси- мальная сила света, ккд	Минимально допустимая высота ус- тановки прожекторов, м, при норми- руемой освещенности, л							
			0,5	1	2	3	5	10	30	50
ПСМ-50-1	Г220-1000	120	35	28	22	20	17	13	7	6
ПСМ-50-1	ДРЛ-700	52	23	19	14	13	11	8	5	4
ПСМ-50-1	ДРЛ-400	19,5	14	11	9	8	7	5	3	3
ПСМ-50-2	ПЖП220-1000	640	60	50	40	35	30	25	17	13
ПСМ-40-1	Г220-500	70	25	21	17	15	13	10	5	4
ПСМ-40-2	ПЖ220-500	280	35	35	30	25	20	15	11	9
ПСМ-30-1	Г220-200	33	18	15	11	10	9	7	4	3
ПЗР-400	ДРЛ-400	19	14	11	8	8	7	5	3	3
ПЗР-250	ДРЛ-250	11	10	8	6	6	5	4	3	3
ПЗС-45	Г220-1000	130	35	29	22	20	18	13	7	6
ПЗС-45	ДРЛ-700	30	17	14	11	10	8	6	4	3
ПЗС-45	ДРЛ-400	14	12	10	7	7	5	4	3	3
ПЗС-45	ДРИ-700	600	-	65	50	45	40	30	16	13
ПЗС-35	Г220-500	50	22	18	14	13	11	8	5	4
ПЗС-25	Г220-200	16	13	10	8	7	6	5	3	3
ПЗМ-35	Г220-500	40	20	16	12	11	10	7	4	4
ПЗМ-25	Г220-200	10	10	8	6	6	5	4	3	3
ПКН-1500-1	КГ220-1500	90	23	20	18	15	13	11	6	5
ПКН-1500-2	КГ220-1500	45	18	15	13	12	10	8	5	4
ПКН-1000-1	КГ220-1000-5	52	20	17	14	13	11	8	5	4
ПКН-1000-2	КГ220-1000-5	30	17	14	11	10	8	6	4	3
ИСУ 02×5000/К-03-02	КГ220-5000-1	200	35	30	25	22	20	17	10	8
ИСУ 01×2000/К-63-01	КГ220-2000-4	71	20	19	15	12	10	9	6	5
ОУКсН-50000	ДКсТ-50000	1300	70	50	45	40	35	30	30	30
ОУКсН-20000	ДКсТ-20000	650	50	42	38	33	30	20	15	10
СКсН-10000	ДКсТ-10000	165	35	30	25	22	20	15	15	15
ККУ1×20000/Н00-01	ДКсТ-20000	120	35	28	21	25	25	25	25	25
ККУ1×10000/Н00-01	ДКсТ-10000	105	27	23	17	15	12	8	6	6

СХЕМЫ ПИТАНИЯ РАБОЧЕГО И ЭВАКУАЦИОННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

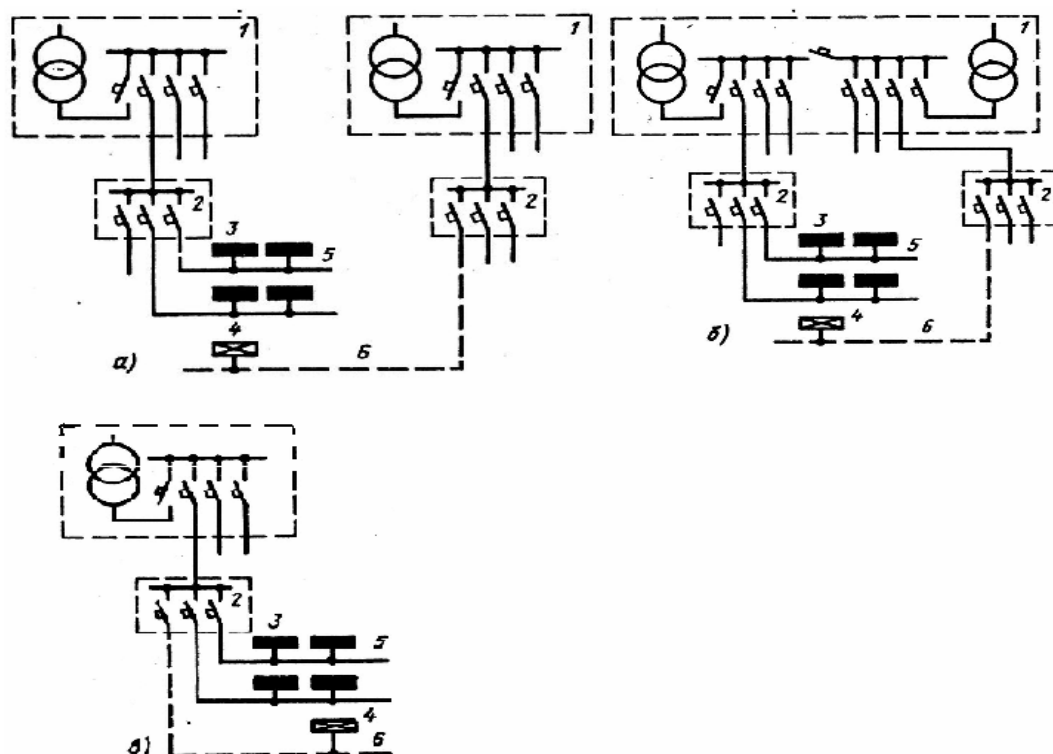


Рис. П10.1. Схемы питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения производственных зданий от КТП: а – от двух однострансформаторных КТП; б – от одной двухтрансформаторной КТП; в – от одной однострансформаторной КТП

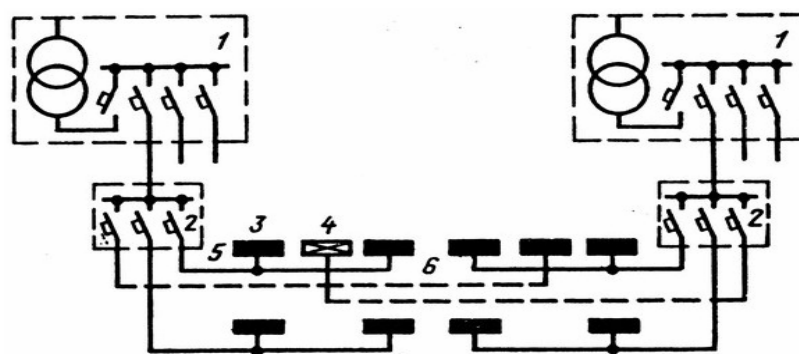


Рис. П10.2. Схема перекрестного питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения производственных зданий

На рис. П10.1, П10.2 приняты следующие обозначения: 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.

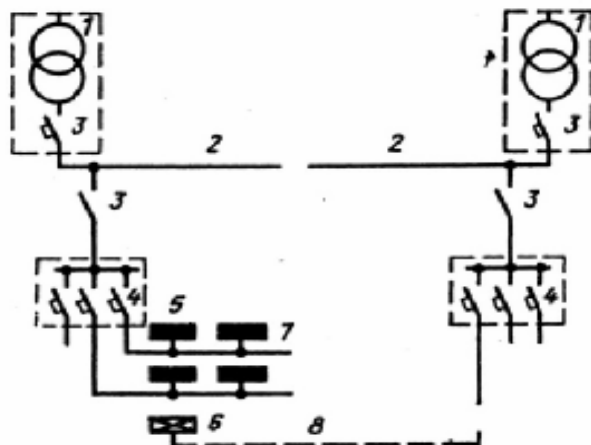


Рис. П10.3. Схема питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения производственных зданий от двух магистральных шинопроводов: 1 – КТП; 2 – магистральный шинопровод; 3 – автоматический выключатель, устойчивый к току короткого замыкания; 4 – магистральный щиток (пункт); 5 – групповой щиток рабочего освещения; 6 – групповой щиток аварийного (эвакуационного) освещения; 7 – линия питающей сети рабочего освещения; 8 – линия питающей сети аварийного (эвакуационного) освещения

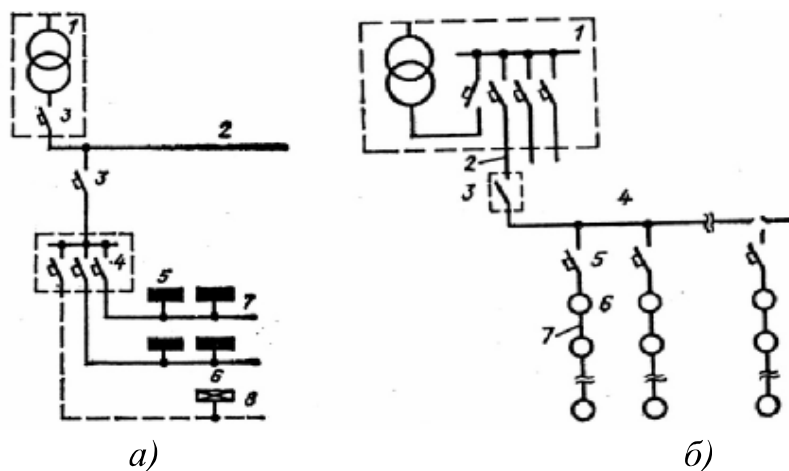


Рис. П10.4. Схема питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения производственных зданий: а) от одного магистрального шинопровода; б) от распределительного шинопровода: 1 – КТП; 2 – магистральный шинопровод; 3 – автоматический выключатель, устойчивый к току короткого замыкания; 4 – магистральный щиток (пункт); 5 – групповой щиток рабочего освещения; 6 – групповой щиток аварийного (эвакуационного) освещения; 7 – линия питающей сети рабочего освещения; 8 – линия питающей сети аварийного (эвакуационного) освещения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК*

1. Электротехнический справочник / под ред. И. Н. Орлова [и др]. – М. : Энергоиздат, 1982. – 560 с.
2. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 528 с. – ISBN 5-283-00824-X.
3. Лебедева, С. И. Инженерные методы расчета светотехнических параметров осветительных установок / С. И. Лебедева [и др.]. – М. : Москов. энерг. ин-т, 1984. – 180 с.
4. Гуторов, М. М. Основы светотехники и источники света : учеб. пособие для вузов / М. М. Гуторов. – 2-е изд. – М. : Энергоиздат, 1983. – 384 с.
5. Кнорринг, Г. М. Осветительные установки / Г. М. Кнорринг. – Л. : Энергоиздат, 1981. – 288 с.
6. Освещение открытых пространств / Н. В. Велоцкий, М. С. Дадимов, Л. Д. Николаева [и др.]. – Л. : Энергоиздат, 1981. – 232 с.
7. Кнорринг, Г. М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения / Г. М. Кнорринг. – Л. : Энергия, 1973. – 200 с.
8. Справочная книга для проектирования электрического освещения / под ред. Г. М. Кнорринга. – М. : Энергия, 1976. – 384 с.
9. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. – М. : ГУП ЦПП, 2003 г. – 54 с.
10. ВСН 59-88. Электрооборудование жилых и общественных зданий. Нормы проектирования. – М. : Стройиздат, 1990. – 88 с.
11. Методические указания к расчетно-лабораторным работам по дисциплине «Электрическое освещение» / Владим. гос. ун-т.; сост. : Г. П. Колесник, О. Д. Бухарова. – Владимир, 2001. – 45 с.
12. Колесник, Г. П. Электрическое освещение : учеб. пособие / Г. П. Колесник. – Владимир : Ред.-издат. комплекс ВлГУ, 2002. – 98 с. – ISBN 5-89368-341-2.
13. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., испр. и доп. – М. : Энергосервис, Госэнергонадзор, 2000. – 608 с. – ISBN 5-900835-32-4.

* Приводится в авторской редакции

14. Фугенфиров, М. И. Электрические схемы с газоразрядными лампами / М. И. Фугенфиров. – М. : Энергия, 1974. – 368 с.
15. Белоруссов, Н. И. Электрические кабели, провода и шнуры : справочник / Н. И. Белоруссов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоиздат, 1988. – 536 с.
16. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. РД 34.20.185 – 94. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 48 с. – ISBN 5-283-01253-0.
17. Кнорринг, Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг, Н. М. Фадин, В. Н. Сидоров. – СПб. : Энергоиздат, 1992. – 384 с.
18. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий СП 31-110-2003. – М. : Госстрой России, 2004. – 50 с.
19. Пособие к МГСН 2.06-99 : Расчет и проектирование освещения помещений общественных зданий. – М. : Москомархитектура, 1999. – 86 с.

Учебное издание

КОЛЕСНИК Григорий Платонович

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ: ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Учебное пособие

Редактор Л.В. Пукова

Технический редактор Н.В. Тупицына

Корректор Т.В. Климова

Компьютерная верстка Е.Г. Радченко

Подписано в печать 04.05.06.

Формат 60х84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.
Печать на ризографе. Усл. печ. л. 7,44. Уч.-изд. л. 7,96. Тираж 100 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.

ИЗДАТЕЛЬСТВО ВЛАДИМИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА (ВлГУ)

специализируется на издании учебной, методической, научной и справочной литературы для системы высшего образования и осуществляет следующие виды издательских и печатных работ с соблюдением всех издательских нормативов и ГОСТов:

- Редактирование и выполнение всех видов работ по подготовке в печать издательского оригинал-макета с электронной версии, предоставленной автором.
- Выполнение печатных работ.
- Выполнение полноцветной обложки по дизайну автора.



Адрес Издательства ВлГУ: 600000, ул. Горького, 87.

Контактные телефоны: 27-99-54, 27-99-49.