

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. П. Степанцов

СВЕТОТЕХНИКА

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов учреждений
высшего образования по специальности
«Энергетическое обеспечение сельского хозяйства»
(по направлениям)*

Минск
БГАТУ
2017

УДК 628.9(07)
ББК 31.294я7
С79

Рецензенты:

кафедра «Электроснабжение» Белорусского национального
технического университета (заведующий кафедрой
кандидат технических наук, доцент *В. Б. Козловская*)

Степанцов, В. П.

С79 Светотехника : учебное пособие. – Минск : БГАТУ, 2017. – 436 с.
ISBN 978-985-519-858-2.

Изложена информация о современном состоянии и перспективах развития сельскохозяйственной светотехники, сконцентрированы и обобщены материалы, позволяющие всесторонне проанализировать эффективность эксплуатации установок, используемых в сельскохозяйственном производстве.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (по направлениям), и может быть использовано учащимися средних специальных учебных заведений, обучающимися по специальности 2-74 06 31 Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства.

УДК 628.9(07)
ББК 31.294я7

ISBN 978-985-519-858-2

© БГАТУ, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. ОПТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ: ПРИРОДА, ХАРАКТЕРИСТИКИ, ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПРИЕМНИКИ	12
1.1. Природа и спектр оптического излучения.....	12
1.2. Основные понятия и определения.....	17
1.3. Определение параметров оптического излучения.....	22
1.4. Приемники оптического излучения и их характеристики.....	27
1.5. Количественная оценка эффективного действия оптического излучения.....	32
1.6. Измерение параметров оптического излучения.....	37
Контрольные вопросы.....	45
2. ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	47
2.1. Классификация и параметры источников.....	47
2.2. Тепловые источники оптического излучения.....	49
2.2.1. Основные положения теории теплового излучения.....	49
2.2.2. Лампы накаливания общего назначения.....	52
2.2.3. Кварцевые галогенные лампы накаливания.....	57
2.2.4. Инфракрасные зеркальные лампы-термоизлучатели.....	59
2.3. Газоразрядные источники оптического излучения.....	60
2.3.1. Основные положения теории электрического разряда в газах и парах металлов.....	60
2.3.2. Газоразрядные лампы низкого давления.....	68
2.3.3. Включение в сеть газоразрядных ламп низкого давления.....	73
2.3.4. Газоразрядные лампы высокого и сверхвысокого давления.....	78
2.3.5. Схемы включения в сеть газоразрядных ламп высокого давления.....	87

2.3.6. Специальные газоразрядные источники оптического излучения.....	90
2.4. Светодиодные источники оптического излучения	94
2.5. Индукционные лампы.....	99
Контрольные вопросы.....	101
3. УСТАНОВКИ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ.....	103
3.1. Световые приборы.....	103
3.1.1. Устройство, классификация, характеристики и обозначение светильников.....	103
3.1.2. Устройство, характеристики и область применения прожекторов.....	113
3.1.3. Устройство и область применения комплектных осветительных устройств.....	115
3.2. Нормирование освещенности рабочей поверхности.....	117
3.3. Проектирование установок искусственного освещения.....	126
3.3.1. Выбор источников света.....	127
3.3.2. Выбор системы и вида освещения.....	129
3.3.3. Выбор нормируемой освещенности и коэффициента запаса.....	132
3.3.4. Выбор светильников.....	135
3.3.5. Размещение светильников в освещаемом пространстве.....	143
3.4. Светотехнический расчет осветительных установок помещений зданий и сооружений.....	150
3.5. Осветительные установки территорий, площадок, дорог и улиц.....	167
3.5.1. Прожекторное освещение.....	168
3.5.2. Освещение открытых пространств светильниками.....	174
Контрольные вопросы.....	179
4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	180
4.1. Ультрафиолетовое облучение животных и птицы.....	180

4.1.1. Устройство и характеристики установок ультрафиолетового облучения.....	181
4.1.2. Расчет установок ультрафиолетового облучения.....	185
4.1.3. Особенности управления установками ультрафиолетового облучения.....	193
4.2. Установки ультрафиолетового обеззараживания воды и воздуха.....	196
4.2.1. Способы и степень обеззараживания воды.....	196
4.2.2. Установки для ультрафиолетового обеззараживания воды.....	200
4.2.3. Расчет установок ультрафиолетового обеззараживания воды.....	202
4.2.4. Установки для обеззараживания воздуха.....	206
4.3. Устройство и характеристики установок инфракрасного обогрева молодняка животных и птицы.....	211
4.3.1. Облучатели инфракрасного обогрева животных и птицы.....	213
4.3.2. Расчет установок инфракрасного обогрева животных и птицы.....	216
4.3.3. Комбинированные установки ИК-обогрева и УФ-облучения.....	224
4.3.4. Особенности управления установками ИК-обогрева.....	229
4.4. Облучение растений в условиях защищенного грунта.....	232
4.4.1. Установки для облучения растений в условиях защищенного грунта.....	236
4.4.2. Расчет установок для облучения растений.....	242
4.5. Энергоэффективные технологии использования оптического излучения в процессах сельскохозяйственного производства.....	246
Контрольные вопросы.....	257
5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.....	260
5.1. Электрооборудование светотехнических установок.....	260

5.2. Исполнение электрических сетей светотехнических установок.....	276
5.3. Проектирование электрических сетей светотехнических установок.....	282
5.3.1. Выбор напряжения и схемы питания электрической сети.....	283
5.3.2. Выбор групповых щитков, определение места их расположения и трассы сети.....	284
5.3.3. Выбор марки проводов и способов их прокладки.....	287
5.3.4. Расчет и проверка сечения проводников электрической сети.....	290
Контрольные вопросы.....	303
6. ЭКСПЛУАТАЦИЯ СВОТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.....	305
6.1. Особенности эксплуатации светотехнических установок.....	306
6.1.1. Организация эксплуатации.....	306
6.1.2. Порядок и объем работ по техническому обслуживанию и ремонту.....	310
6.1.3. Способы и сроки чистки светотехнических приборов и источников.....	315
6.1.4. Средства доступа к электротехническим изделиям светотехнических установок.....	321
6.1.5. Характерные неисправности светотехнического оборудования и способы их устранения.....	324
6.2. Энергосбережение при проектировании и эксплуатации светотехнических установок.....	326
6.3. Сравнительная оценка эффективности внедрения нового оборудования.....	333
6.4. Техника безопасности и охрана труда при эксплуатации светотехнических установок.....	342
Контрольные вопросы.....	349
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	351
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	355

ВВЕДЕНИЕ

Светотехника – область науки и техники, предметом которой являются исследования принципов и разработка способов получения, пространственного перераспределения и измерения параметров оптического излучения, преобразования его в другие виды энергии и использования в различных технологических процессах. Сфера интересов светотехники распространяется на разработку источников оптического излучения, осветительных, облучательных¹ и светосигнальных приборов и устройств, систем управления ими, нормирование, проектирование, монтаж, наладку и эксплуатацию установок.

Сегодня невозможно переоценить значение оптического излучения (ультрафиолетового, видимого и инфракрасного), естественного или полученного искусственно, для человека и общества. Все живое на нашей планете возникло и существует благодаря оптическому излучению и вызываемой им реакции фотосинтеза зеленых растений.

На фоне развития электроэнергетики все ярвственнее проявляется тенденция к увеличению потребления электрической энергии в светотехнических установках, что составляет в развитых странах 20 и более процентов общего ее расхода на удовлетворение все возрастающих потребностей.

Современное человечество немислимо без использования видимого излучения (света), создающего необходимые условия освещения и обеспечивающего зрительное восприятие (видение) окружающих нас предметов. Свет создает необходимые условия для жизнедеятельности (работы, отдыха, быта) человека (растений, животных, птицы и других биологических объектов). Без искусственного освещения не может обойтись современное производство, строительство, транспорт.

¹ К облучательным относят приборы (устройства, установки) оптического излучения, оказывающие непосредственное влияние на технологические процессы, в результате чего повышается их эффективность, увеличивается урожай растений, продуктивность животных, птицы и тому подобных биологических объектов. При этом воздействие достигается благодаря проникающей способности излучения в объект, его поглощения объектом и специфического воздействия на клеточном и молекулярном уровнях.

Оптическое излучение все в большей степени используется в современных технологических процессах сельскохозяйственного производства, становится частью технологий производства животноводческой и птицеводческой продукции, обеспечения урожайности растительных культур. Анализ структуры баланса электрической энергии, потребляемой сельскохозяйственным производством, позволяет увидеть тенденцию к возрастанию доли ее использования в осветительных и облучательных установках.

По проблемам и способам использования оптического излучения сельскохозяйственное производство особо выделяется из всех отраслей народного хозяйства. Здесь оптическое излучение повсеместно используется в облучательных установках для непосредственного электротехнологического воздействия на живые организмы и растения. Оно не только создает благоприятные условия для выполнения зрительных работ обслуживающим персоналом, но и воздействует на обмен веществ, стимулирует продуктивность и резистентность, вызывает общефизиологические сдвиги тонизирующего и терапевтического характера, оказывает влияние на нервную систему, является основой нормального углеродного питания, существования и формирования растений.

Рациональное искусственное освещение сельскохозяйственных помещений позволяет увеличить продуктивность животных и птицы. Например, увеличение освещенности коровников с 10 до 100 лк приводит к росту молочной продуктивности коров в среднем на 8 %. Содержание свиноматок при освещенности 100 лк способствует повышению их плодовитости на 5,8 %, увеличению средней массы поросят при рождении – на 4,5...16 % в сравнении с животными, находящимися в помещении с освещенностью 6...10 лк. У коров наибольшая продуктивность наблюдается при световом дне 14...16 ч, у подсвинков – 12 ч. Применение дифференцированного, в зависимости от возраста птицы, светового дня увеличивает ее продуктивность до 10 %.

Искусственная компенсация ультрафиолетовой недостаточности, имеющей место в основном в зимнее время, повышает удои коров на 5...13 % при сохранении жирности молока на том же уровне или некотором ее увеличении. У телят среднесуточные приросты массы повышаются на 7...13 %, а у поросят – на 20 %. У свиней на откорме при улучшении качества мяса среднесуточный

прирост массы увеличивается на 4...10 %. Ультрафиолетовое облучение сельскохозяйственной птицы вызывает повышение яичной продуктивности на 10...15 %, прироста массы на 4...11 % цыплят-бройлеров и мясных утят.

Как видим, эффективное использование оптического излучения и достижений современной светотехники – важный резерв повышения производительности труда, продуктивности сельскохозяйственных животных, птицы и растений, качества выпускаемой продукции, снижения травматизма и сохранения здоровья человека.

При формировании необходимых профессиональных компетенций (знаний, навыков, умений) инженера во время его обучения в высшем учебном заведении по специальности 1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (по направлениям) раздел «Светотехника» изучается в объеме 64 учебных аудиторных часов (32 часа лекций, 16 – лабораторных и 16 – практических занятий) при изучении дисциплины «Светотехника и электротехнологии». Целью дисциплины «Светотехника и электротехнологии» применительно к разделу «Светотехника» является формирование целостной системы научно-технических знаний в области современной светотехники, привитие инженерных навыков практического применения этих знаний для решения задач сельскохозяйственного производства.

Задачи раздела «Светотехника» дисциплины:

- изучение физических основ преобразования электрической энергии в оптическое излучение и современных способов рационального и эффективного использования его в технологических процессах сельскохозяйственного производства;

- изучение устройства, принципа действия, технических параметров и характеристик, областей применения светотехнического оборудования и установок;

- приобретение знаний по расчету и выбору светотехнического оборудования, инженерным методам его проектирования и эксплуатации, технико-экономическому обоснованию технических решений, способам экономии энергии в осветительных и облучательных установках.

Дисциплина «Светотехника и электротехнологии» относится к специальным дисциплинам и для ее успешного освоения

необходимо знание дисциплин естественно-научного цикла (математика, физика, химия) и цикла общепрофессиональных и специальных дисциплин (теоретические основы электротехники, теплотехнология, монтаж электрооборудования и средств автоматики).

В результате изучения раздела «Светотехника» дисциплины «Светотехника и электротехнологии» обучаемые должны:

– *знать* физические основы преобразования электрической энергии в энергию оптического излучения и рационального ее использования в технологических процессах сельскохозяйственного производства;

– *уметь* использовать современные методы инженерных расчетов при выборе и проектировании светотехнического оборудования и установок;

– *владеть* базовыми знаниями постановки и решения инженерных задач в области светотехники и навыками эксплуатации и безопасного обслуживания светотехнического оборудования и установок.

В предлагаемом учебном пособии изложена информация о современном состоянии и перспективах развития сельскохозяйственной светотехники. В нем сконцентрированы и обобщены материалы, позволяющие проанализировать и оценить эффективность эксплуатации светотехнических установок, используемых в сельскохозяйственном производстве. Выводы по результатам анализа и рекомендации по совершенствованию предложены в форме размышлений, которые помогут обучающимся сформировать собственное мнение о состоянии светотехнического оборудования и путях его модернизации в условиях конкретного предприятия.

Учебное пособие носит практико-ориентированный характер. В нем основное внимание уделено светотехнической части установок и учтен тот фактор, что даже при оптимальном выборе и размещении источников, светильников и облучателей не всегда получаем эффективно работающую установку. При проектировании и эксплуатации необходимо дополнительно решать вопросы надежного электроснабжения, оптимальной компоновки и устройства электрических сетей, их комплектования аппаратами управления, защиты и системами автоматического управления, организации надлежащей эксплуатации, рациональной экономии электрической энергии.

Издание предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (по направлениям) и учащихся средних специальных учебных заведений, обучающихся по специальности 2-74 06 31 Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства.

Автор высказывают искреннюю благодарность В. Б. Козловской за проделанную работу по тщательному рецензированию рукописи и справедливые замечания.

1. ОПТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ: ПРИРОДА, ХАРАКТЕРИСТИКИ, ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПРИЕМНИКИ

1.1. Природа и спектр оптического излучения

Возвращение электрона возбужденного атома материальной среды на исходную орбиту сопровождается излучением электромагнитной энергии. Электромагнитное излучение с длиной волны от $1 \cdot 10^{-2}$ до $1 \cdot 10^3$ мкм² называют оптическим излучением.

Оптическое излучение – одна из форм существования материи, имеющей массу покоя, равную нулю, и движущейся в вакууме со скоростью $c \approx 2,988 \cdot 10^8$ м · с⁻¹. Оно характеризуется волновыми и квантовыми свойствами.

Согласно волновой теории оптическое излучение распространяется в пространстве в виде электромагнитных волн, представляющих собой периодические колебания напряженностей электрического и магнитного полей. Исходя из волновых свойств, оптическое излучение характеризуют длиной волны, скоростью распространения и частотой повторения амплитуды:

$$v = c / \lambda , \quad (1.1)$$

где λ – длина волны, м (нм, мкм);

v – частота повторения амплитуды волны, с⁻¹;

c – скорость распространения волны, м · с⁻¹.

Согласно квантовой теории М. Планка энергия излучается порциями, минимальное значение которых называют квантом. Кванты оптического излучения принято называть *фотонами*.

Энергия фотона Q (Дж) равна:

$$Q = h \nu , \quad (1.2)$$

где h – постоянная Планка, равная $6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

Оптическое излучение образуется при переходе возбужденного атома в равновесное состояние.

² Длину волны оптического излучения принято измерять в нанометрах (1 нм = 10⁻⁹ м) или микрометрах (1 мкм = 10⁻⁶ м).

В невозбужденном состоянии элементарные частицы атома, например, ядро и электроны, находятся в состоянии энергетического равновесия. Положительный заряд ядра атома уравнивается отрицательными зарядами электронов, вращающихся вокруг него по определенным орбитам. Для получения оптического излучения необходимо привести состояние атома в возбужденное состояние, что может быть осуществлено путем нагрева, электрического разряда или иным способом.

При подведении энергии извне атом возбуждается, что проявляется переходом его электронов на орбиту с более высоким энергетическим уровнем (рис. 1.1). Электроны в возбужденном состоянии долгое время находиться не могут и постоянно стремятся возвратиться на орбиту состояния энергетического равновесия. Переход электронов на орбиту устойчивого энергетического состояния осуществляется как непосредственно с орбиты на орбиту, так и через орбиты промежуточного состояния.

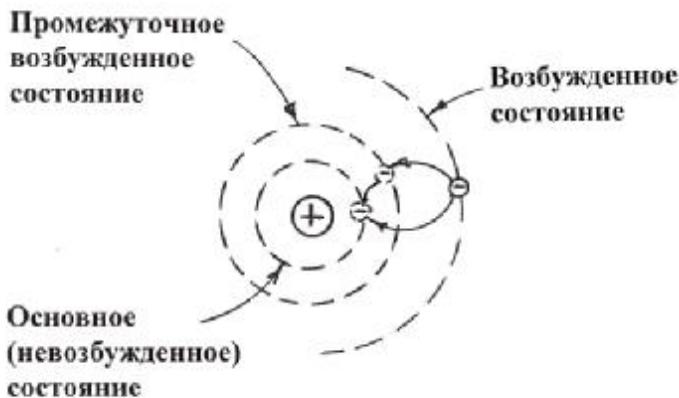


Рис. 1.1. Модель перехода электронов возбужденного атома в состояние устойчивого энергетического равновесия

При переходе с орбиты более высокого энергетического уровня на орбиту состояния энергетического равновесия электроны испускают избыточную энергию в виде электромагнитного излучения. Значение энергии излучения определяется разностью энергий энергетических уровней и зависит от строения атома, его структуры и количества энергетических уровней, на которые

может переместиться электрон из возбужденного состояния. Значение энергии, в свою очередь, определяет частоту и длину волны излучения (1.1, 1.2).

Перемещение электрона атома с орбиты на орбиту сопровождается излучением фотона определенной длины волны и энергии. Перемещение электрона через промежуточные орбиты вызывает несколько фотонов монохроматического излучения, которые отличаются значениями длин волн и энергии.

Интенсивность монохроматического излучения определяется произведением энергии фотона на число фотонов, проходящих через замкнутый контур пространства в единицу времени. Эту величину называют *поток монохроматического излучения* Φ_λ (Вт) длины волны λ :

$$\Phi_\lambda = Q n_\lambda / \tau, \quad (1.3)$$

где n_λ – число фотонов, прошедших через замкнутый контур за время τ .

Электромагнитное излучение характеризуется широким интервалом длин волн. Лишь небольшую часть этого интервала между областями рентгеновских лучей ($\lambda > 1 \dots 10$ нм) и радиоизлучений ($\lambda < (3,4 \dots 10) \cdot 10^5$ нм) составляет оптическое излучение.

Отметим, что общепринятые границы оптического излучения с соседними областями спектра электромагнитного излучения нечеткие, так как воздействие рентгеновского и оптического излучений (оптического и радиоизлучений) на приемники в этих нечетких диапазонах, определяемое в основном энергией фотонов (квантов), примерно одинаково. Поэтому границы оптического излучения чаще всего для удобства указывают в пределах $1 \dots 1 \cdot 10^6$ нм (от 1 нм до 1 мм) [1].

Воздействие отдельных диапазонов оптического излучения на приемники определяется длиной волны и энергией фотона. С уменьшением длины волны энергия фотона возрастает, увеличивая и усложняя взаимодействие излучения с приемником. Тем не менее, излучения близких по значению длин волн с одинаковым воздействием на приемники условно объединяют в некоторые диапазоны или зоны.

Излучение оптической области подразделяют на ультрафиолетовое (УФ), видимое и инфракрасное (ИК)³. УФ- и ИК-излучения, в свою очередь, условно делят на зоны А, В и С, а видимое – на семь основных цветов: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый (табл. 1.1) [1].

Таблица 1.1

Спектральное распределение оптического излучения

Вид оптического излучения	Зона излучения	Длина волны излучения, нм
Ультрафиолетовое излучение	Зона С (УФ-С)	<280
	Зона В (УФ-В)	280...315
	Зона А (УФ-А)	315...380
Видимое излучение	Фиолетовый цвет	380...450
	Синий цвет	450...480
	Голубой цвет	480...510
	Зеленый цвет	510...555
	Желтый цвет	555...585
	Оранжевый цвет	585...620
	Красный цвет	620...780
Инфракрасное излучение	Зона А (ИК-А)	780...1400
	Зона В (ИК-В)	1400...3000
	Зона С (ИК-С)	>3000

Из всех видов оптического излучения в сельскохозяйственном производстве наиболее широко используется *видимое* излучение. Видимым называют такое излучение, которое способно непосредственно вызывать зрительные ощущения. Излучение этого диапазона (380...780 нм) применяют для создания необходимого уровня освещенности объектов, ускорения реакции фотосинтеза у зеленых растений, увеличения продуктивности и регулирования биологических ритмов сельскохозяйственных животных и птицы.

³ В переводе с латинского языка «инфра» означает «вперед», то есть перед красным, а «ультра» – «за», то есть за фиолетовым.

УФ-излучение (1...380 нм) отличается относительно высокой энергией фотонов, способных оказать существенное влияние на биологические объекты. По воздействию на биологические объекты УФ-излучение подразделяют на зоны А (315...380 нм), В (280...315 нм) и С (100...280 нм)⁴.

Длинноволновое УФ-излучение (зона УФ-А) обладает сравнительно небольшой фотобиологической активностью, но способно вызвать пигментацию кожи человека, оказывает положительное влияние на организм животных и птицы, повышая их биологическую активность, определяет формативный эффект у растений. Излучение этого диапазона способно вызывать свечение некоторых веществ и его используют для люминесцентного анализа химического состава и биологического состояния продуктов.

Средневолновое УФ-излучение (зона УФ-В) оказывает тонизирующее и терапевтическое действие на живые организмы. Оно способно вызывать эритему и загар, превращать в организме животных необходимый для роста и развития витамин D в усвояемую форму, обладает мощным антирахиитным действием.

Коротковолновое УФ-излучение (зона С) отличается бактерицидным действием и его широко используют для обеззараживания воды и воздуха, дезинфекции и стерилизации различного инвентаря и посуды.

ИК-излучение (780...10⁶ нм) характеризуется относительно небольшой энергией и хорошей проникающей способностью фотонов. Глубоко проникая в поверхностные слои тканей живого организма или вещества приемника, ИК-излучения большую часть энергии своих фотонов расходуют на образование теплоты, так как этой энергии в большинстве случаев недостаточно для оказания какого-либо воздействия на фотобиологические реакции. ИК-излучения практически не поглощаются воздухом.

ИК-излучения также делят на зоны А (780...1400 нм), В (1400...3000 нм), С (3 мкм...1 мм), хотя это деление условно, так как отличительное воздействие указанных зон излучения на приемники выражено не так четко, как для УФ-излучения. В сельско-

⁴ УФ-излучения с длиной волны менее 100 нм интенсивно поглощаются воздухом и, как правило, не достигают объекта и в сельскохозяйственном производстве практически не применяются.

хозяйственном производстве ИК-излучения применяют в основном для обогрева молодняка животных и птицы, сушки и дезинсекции сельскохозяйственных продуктов (зерно, фрукты, чай и др.), сушки лакокрасочных покрытий.

ИК- и УФ-излучения невидимы для глаза человека.

1.2. Основные понятия и определения

Излучаемое источником оптическое излучение характеризуется распределением по спектру, которое может быть линейчатым, состоящим из монохроматического излучения одной или нескольких длин волн, сплошным или смешанным (рис. 1.2). Примером монохроматического излучения является луч лазера. Линейчатый спектр получается при электрическом разряде в газах или парах металлов низкого давления. Сплошной спектр излучают тела при нагреве. Смешанный спектр излучения характерен для большинства естественных и искусственных излучателей.

Для характеристики распределения потока излучения по спектру пользуются понятием *спектральная плотность потока излучения* $\Phi_{e\lambda}$ ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1}$):

$$\Phi_{e\lambda} = d\Phi_{\lambda} / d\lambda, \quad (1.4)$$

где $d\Phi_{\lambda}$ – значение однородного потока излучения на полосе спектра $d\lambda$.

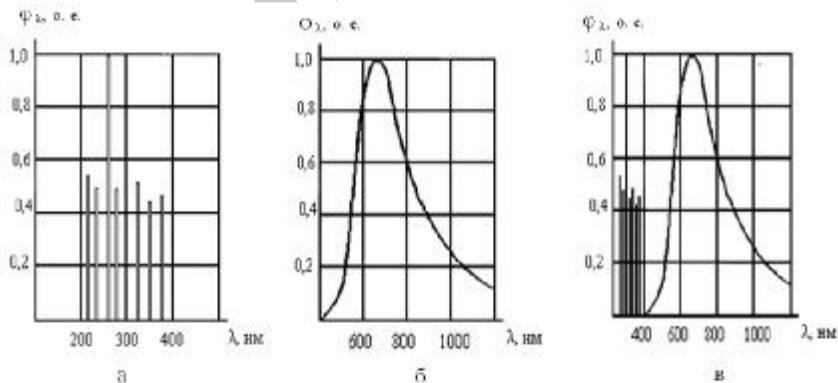


Рис. 1.2. Примеры распределения оптического излучения по спектру:
а – линейчатый; б – сплошной; в – смешанный

Значение спектральной плотности потока излучения $\varphi_{e\lambda}$ часто графически представляют в виде *относительной спектральной плотности излучения* φ_λ (относительные единицы):

$$\varphi_\lambda = \varphi_{e\lambda} / (\varphi_{e\lambda})_{\max}, \quad (1.5)$$

где $(\varphi_{e\lambda})_{\max}$ – максимальное значение спектральной плотности излучения излучателя.

Сумма потоков монохроматического излучения источника определяет его полный *поток излучения* Φ_Σ (Вт):

$$\Phi_\Sigma = \int_{\lambda_n = 1\text{нм}}^{\lambda_k = 1\text{мм}} \Phi_\lambda, \quad (1.6)$$

Зная распределение излучения по спектру и значения потоков монохроматических излучений каждой длины волны, несложно путем интегрирования определить суммарный поток излучения Φ_Σ :

$$\Phi_\Sigma = \int_{\lambda_n = 1\text{нм}}^{\lambda_k = 1\text{мм}} \varphi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda = (\varphi_{e\lambda})_{\max} \int_{\lambda_n = 1\text{нм}}^{\lambda_k = 1\text{мм}} \varphi_\lambda(\lambda) d\lambda, \quad (1.7)$$

Распределение потока излучения в пространстве характеризуется *силой излучения*. Сила излучения I , Вт \cdot ср⁻¹, определяется отношением потока излучения $d\Phi$ к телесному углу $d\omega$ с вершиной в точке расположения излучателя, в пределах которого равномерно распределен этот поток:

$$I = d\Phi / d\omega, \quad (1.8)$$

Телесный угол ω – коническое тело, вершиной которого служит центр сферы произвольного радиуса, а основанием является часть поверхности этой сферы, на которую этот конус опирается (рис. 1.3). Величина телесного угла ω определяется отношением площади основания сферической части конуса $S_{\text{осн}}$ к квадрату радиуса сферы r^2 :

$$\omega = S_{\text{осн}} / r^2. \quad (1.9)$$

⁵ Единицей измерения телесного угла является стерадиан (ср). 1 ср – телесный угол, вырезающий на поверхности сферы участок, площадь которого эквивалентна квадрату радиуса сферы.

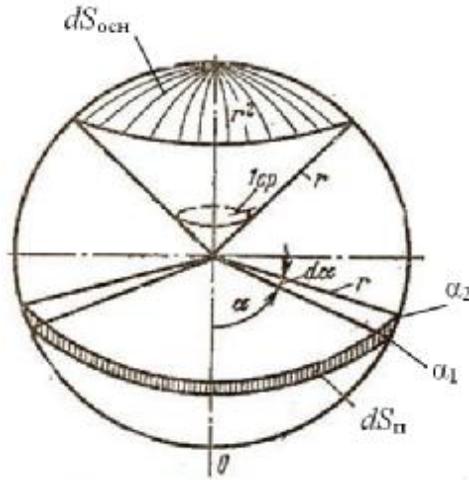


Рис. 1.3. К определению телесного угла

Отношение потока излучения Φ , падающего на облучаемую поверхность, к площади этой поверхности S называют облученностью E ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$):

$$E = d\Phi/dS, \quad (1.10)$$

где $d\Phi$ – поток излучения, равномерно распределившегося по поверхности dS , Вт;

dS – площадь облучаемой поверхности, м^2 .

Облученность в любой точке M , лежащей на поверхности dS , может быть определена и через силу излучения точечного излучателя (рис. 1.4):

$$E_M = (I_\alpha \cos \beta) / l^2, \quad (1.11)$$

или для поверхности, расположенной горизонтально ($\alpha = \beta$, $l = h / \cos \alpha$):

$$E_M = (I_\alpha \cos^3 \alpha) / h^2, \quad (1.12)$$

где I_α – сила излучения от точечного излучателя в направлении облучаемой точки M , $\text{Вт} \cdot \text{ср}^{-1}$;

β – угол между нормалью к поверхности и направлением силы излучения, град.;

α – угол между направлением силы излучения и осью симметрии излучателя, град.;

l – расстояние между излучателем и облучаемой точкой, м;

h – высота подвеса излучателя, м.

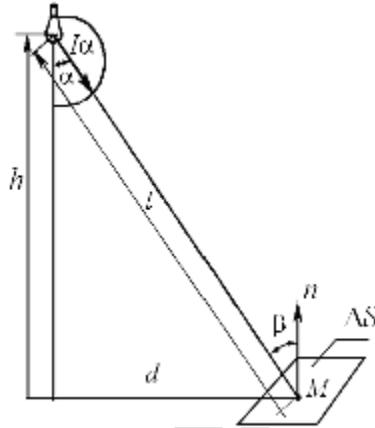


Рис. 1.4. Определение облученности в точке при известном распределении силы излучения источника: d – расстояние между точкой M и точкой проекции светового центра светильника на горизонтальную плоскость, на которой расположена точка A .

Результат воздействия оптического излучения на объект определяется не только облученностью и спектральным составом излучения, но и временем облучения. Чем дольше поток излучения падает на облучаемый объект, тем большее количество энергии может быть им поглощено при одной и той же облученности. Величина, определяющая общее количество энергии излучения, приходящейся на единицу площади облучаемого объекта в течение времени действия излучения, называется *дозой облучения* или *экспозицией* H , Дж · м⁻²:

$$H = \int_{t_1}^{t_2} E \cdot dt, \quad (1.13)$$

где t – продолжительность облучения, с.

Плотность потока на поверхности излучателя (*светимость*) $M_{и}$, Вт · м⁻², определяют как

$$M_{и} = d\Phi / dS_{изл}, \quad (1.14)$$

где $S_{изл}$ – площадь излучающей поверхности, м².

Приведенные выше величины (энергия излучения, поток излучения, сила излучения, облученность, энергетическая экспозиция) позволяют определить параметры излучателя без учета его эффективного воздействия на приемники и образуют **систему энергетических величин** оптического излучения (приложение 1).

Распределение силы излучения излучателя в различных направлениях пространства может быть представлено в виде графиков, таблиц или математических выражений. Если изобразить значения силы излучения в различных направлениях пространства радиус-векторами, длина которых в принятом масштабе будет определять модуль вектора силы излучения, то часть пространства, ограниченная замкнутой поверхностью, представляющей геометрическое место концов радиус-векторов силы излучения, называется *фотометрическим телом* излучателя (рис. 1.5). Фотометрическое тело некоторых излучателей симметрично относительно оси источника и, следовательно, может быть принято за тело вращения. Такие излучатели называют *круглосимметричными* [1, 2].

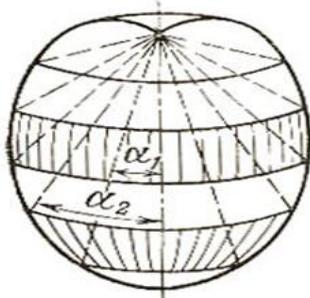


Рис. 1.5. Фотометрическое тело излучателя

Для круглосимметричных излучателей распределение силы излучения может быть представлено *кривой распределения силы* излучения, полученной как результат сечения фотометрического тела

любой плоскостью, проходящей через ось излучателя. Как правило, кривые распределения силы излучения изображают в полярных координатах (рис. 1.6).

1.3. Определение параметров оптического излучения

Зная распределение силы излучения круглосимметричного излучателя (форму кривой распределения силы излучения), несложно определить излучаемый им поток. Для этого воспользуемся *зональным телесным углом*, который представляет собой разность двух телесных углов: $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2$. Зональный телесный угол ограничен двумя коническими поверхностями, образующие которых смещены на угол $d\alpha$ (рис. 1.3).

Элементарный зональный телесный угол определяется как

$$d\omega = 2\pi \sin\alpha d\alpha. \quad (1.15)$$

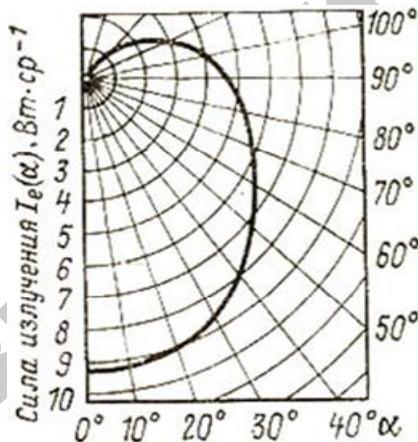


Рис. 1.6. Кривая распределения силы излучения

Интегрирование равенства (1.15) в пределах соответствующих меридианных углов от α_1 до α_2 дает формулу для вычисления его значения:

$$\Delta\omega_{\alpha_1-\alpha_2} = 2\pi \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin\alpha d\alpha = 2\pi(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2). \quad (1.16)$$

Если принять, что сила излучения в пределах зонального телесного угла $\Delta\omega_{\alpha_1-\alpha_2}$, ограниченного меридианными углами $\alpha_1 \dots \alpha_2$, постоянна $I_{\text{ср}}$, то поток излучения в пределах этого зонального телесного угла равен

$$\Phi_{\alpha_1-\alpha_2} = 2\pi I_{\text{ср}} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) = I_{\text{ср}} \Delta\omega_{\alpha_1-\alpha_2}. \quad (1.17)$$

Разбив пространство на ряд зональных телесных углов, заключенных между меридианными углами $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, и определив средние значения силы излучения в этих зональных телесных углах $I_{\alpha_1-\alpha_2}, I_{\alpha_2-\alpha_3}, \dots, I_{\alpha_{n-1}-\alpha_n}$, например, по кривой распределения силы излучения, можно вычислить поток излучения, распространяющийся в пределах каждой зоны $\Phi_{\alpha_1-\alpha_2}, \Phi_{\alpha_2-\alpha_3}, \dots, \Phi_{\alpha_{n-1}-\alpha_n}$, сумма которых дает приближенное значение полного потока излучения излучателя Φ :

$$\Phi = \sum_{\alpha_1-\alpha_2}^{\alpha_{n-1}-\alpha_n} \Phi_{\alpha_i-\alpha_{i+1}} = \Phi_{\alpha_1-\alpha_2} + \Phi_{\alpha_2-\alpha_3} + \dots + \Phi_{\alpha_{n-2}-\alpha_{n-1}} + \Phi_{\alpha_{n-1}-\alpha_n}. \quad (1.18)$$

При известном значении силы излучения точечного излучателя облученность в любой точке, лежащей на поверхности, может быть определена по формуле (1.11), при расположении поверхности горизонтально ($\alpha = \beta, l = h / \cos \alpha$) – по формуле (1.12), а для вертикальной поверхности ($\cos \beta = \sin \alpha, l = h / \cos \alpha$):

$$E_M = (I_\alpha \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha) / h^2. \quad (1.19)$$

Если горизонтальная поверхность расположена перпендикулярно потоку излучения ($\beta = 0, l = h / \cos \alpha$), то

$$E_M = (I_\alpha \cos^2 \alpha) / h^2. \quad (1.20)$$

Объекты сельскохозяйственного производства при моделировании представляют в виде сферы или цилиндра и при светотехнических расчетах определяют не облученность какой-либо конкретной точки, а среднюю облученность всей облучаемой поверхности [1, 3, 4]. Если объект облучения представлен в виде сферы, а точнее, в виде полусферы (так как вторая половина сферы затенена), то ее

среднюю облученность определяют, исходя из следующих соображений (рис. 1.7).

Площадь облучаемой поверхности (полусферы) $S_{\text{обл}} = \pi d^2 / 2$, площадь сечения сферы $S_{\text{сеч}} = \pi d^2 / 4$, и телесный угол в направлении сферы $\omega = S_{\text{сеч}} / l^2 = \pi d^2 / (4l^2)$.

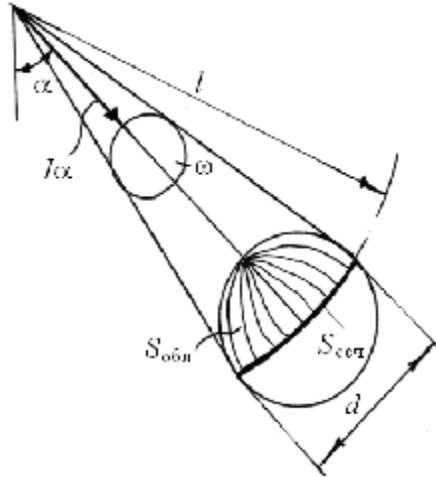


Рис. 1.7. К вопросу определения облученности сферы

Так как средняя облученность поверхности сферы $E_{\text{ср}} = \Phi / S_{\text{обл}}$, значение потока излучения $\Phi = I_{\alpha} \omega$, а $l = h / \cos \alpha$ (рис. 1.4), то

$$E_{\text{ср}} = \Phi / S_{\text{обл}} = (2I_{\alpha} \pi d^2) / (4\pi d^2 l^2) = 0,5 I_{\alpha} \cos^2 \alpha / h^2, \quad (1.21)$$

где d – диаметр сферы, м.

Если объект облучения представлен в виде цилиндра диаметром d и длиной l_1 , то площадь его облучаемой поверхности (полуцилиндра, так как его вторая половина затенена) $S_{\text{обл}} = \pi d l_1 / 2$, площадь сечения $S_{\text{сеч}} = d l_1$ и телесный угол $\omega = d l_1 / l^2$. Тогда среднюю облученность поверхности цилиндра при $E_{\text{ср}} = \Phi / S_{\text{обл}}$, значения потока излучения $\Phi = I_{\alpha} \omega$, а $l = h / \cos \alpha$ определим как

$$E_{\text{ср}} = (2I_{\alpha} dl_1) / (l^2 \pi dl_1) = (2I_{\alpha} \cos^2 \alpha) / \pi h^2 = 0,64 I_{\alpha} \cos^2 \alpha / h^2. \quad (1.22)$$

Анализ формул (1.12, 1.19, ..., 1.22) позволяет получить единую формулу для определения облученности различных тел:

$$E_{\text{тела}} = K_{\phi} I_{\alpha} \cos^2 \alpha / h^2, \quad (1.23)$$

где K_{ϕ} – коэффициент формы поверхности тела, равный: $\cos \alpha$ для горизонтальной плоской поверхности, $\sin \alpha$ – вертикальной плоской поверхности, 1 – горизонтальной плоской поверхности, расположенной перпендикулярно потоку излучения, 0,5 – сферической поверхности, 0,64 – цилиндрической, расположенной горизонтально, нормально к распределению потока излучения, и $0,64 \cos \alpha$ – цилиндрической, расположенной продольно к распределению потока излучения.

Излучатель не всегда может быть представлен в виде точечного. Если его длина составляет более половины расстояния между ним и поверхностью облучения, то его называют *линейным* (иначе светящейся линией). Примером таких излучателей могут являться газоразрядные лампы низкого давления.

Для определения облученности от линейных излучателей невозможно применять вышеприведенные формулы из-за значительных ошибок в расчетах. Формулы, по которым производятся расчеты облученности от линейных излучателей, несколько видоизменяются. Методику их получения покажем на примере определения облученности плоской поверхности, расположенной параллельно линейному излучателю. За линейный излучатель примем цилиндр диаметром более чем на порядок меньше его длины, поток излучения с элемента поверхности которого подчиняется закону $I_{\alpha L} = I_{0L} \cos \alpha$, что справедливо для большинства газоразрядных ламп низкого давления.

Положение расчетной точки M определим таким образом, чтобы ее проекция на плоскость F совпала с проекцией конца линейного излучателя на расчетную плоскость S (рис. 1.8). Выделим на линейном излучателе бесконечно малый элемент dL , положение которого относительно расчетной точки M определяется высотой расположения H_p и углами ϕ и α .

Облученность в расчетной точке M от элемента линейного излучателя dL определим по классической формуле светотехники (1.11):

$$dE_M = dI_{\varphi,\alpha} \cos\beta / l_i^2, \quad (1.24)$$

где $dI_{\varphi,\alpha}$ – сила излучения элемента линейного излучателя dL в направлении точки M ; β – угол между вектором силы излучения $dI_{\varphi,\alpha}$ и нормалью к облучаемой поверхности n в точке M ; l_i – расстояние от элемента линейного излучателя dL до точки M .

Учтя, что $dI_{\varphi,\alpha} = I_\varphi dL \cos\alpha$, $\cos\beta = H_p / l_i$, $l_i = H_p / (\cos\varphi \cdot \cos\alpha)$ и $dL \cos\alpha = l_i d\alpha$, имеем

$$dE_M = (I_\varphi / H_p) \cos^2 \varphi \cos^2 \alpha d\alpha. \quad (2.25)$$

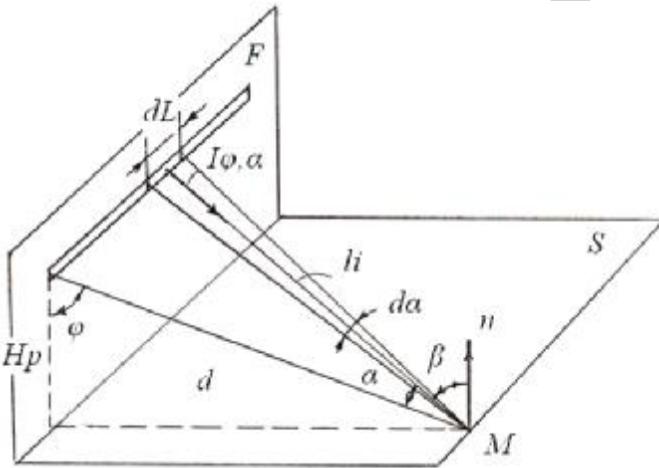


Рис. 1.8. Облученность горизонтальной поверхности от линейного излучателя

Облученность в точке M от всего линейного излучателя определяется интегрированием формулы (1.25) по длине линии L :

$$E_M = \int_L dE_M = \frac{I_\varphi}{H_p} \cos^2 \varphi \int_0^{\alpha_k} \cos^2 \alpha d\alpha.$$

После подстановки $\cos^2 \alpha = (1 + \cos 2\alpha) / 2$ и интегрирования по $d\alpha$ имеем:

$$E_M = (I_\varphi / H_p) \cos^2 \varphi (\alpha_k + \sin 2\alpha_k / 2), \quad (1.26)$$

где I_ϕ – сила излучения с единицы длины линейного излучателя в плоскости, перпендикулярной к оси линии $\phi = \text{arctg}(d/H_p)$; α_k – угол, под которым виден линейный излучатель с точки расчета;

H_p – высота расположения линейного излучателя над облучаемой поверхностью.

Силу излучения I_ϕ с единицы длины линии в плоскости, перпендикулярной к ее оси, с некоторым приближением можно определить по формуле:

$$I_\phi = \Phi/(\pi^2 L), \quad (1.27)$$

где Φ – поток светящейся линии.

1.4. Приемники оптического излучения и их характеристики

Спектр оптического излучения неразрывно связан с процессом переноса лучистой энергии от тела излучающего к телу поглощающему. Тела, в которых происходит поглощение и преобразование оптического излучения, называют *приемниками* оптического излучения.

Воздействие оптического излучения на приемники определяется их оптическими свойствами, в частности, *отражением, поглощением и пропусканием* [1, 3, 4]. При этом (рис. 1.9):

$$\Phi = \Phi_\alpha + \Phi_\rho + \Phi_\tau,$$

где поток оптического излучения Φ – попавший на приемник, Φ_α – поглощенный, Φ_ρ – отраженный и Φ_τ – прошедший через приемник.

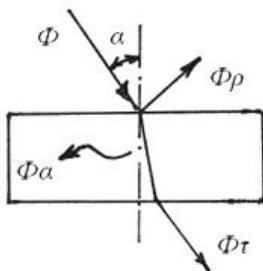


Рис. 1.9. Взаимодействие оптического излучения с приемником

Количественная оценка оптических свойств тел определяется коэффициентами поглощения $\alpha = \Phi_{\alpha} / \Phi$, отражения $\rho = \Phi_{\rho} / \Phi$ и пропускания $\tau = \Phi_{\tau} / \Phi$, при этом $\alpha + \rho + \tau = 1$.

Большинство приемников обладают избирательной (селективной) чувствительностью к излучению разных длин волн. Зависимость, определяющую чувствительность приемника к монохроматическому излучению разных длин волн, называют *спектральной чувствительностью* приемника. Как правило, показатель спектральной чувствительности приемника (рис. 1.10) приводят для поглощенного потока излучения, так как только его энергия может превращаться в другие виды и оказывать какое-то действие (физическое, химическое, биологическое и иное), ожидаемое или нежелательное.

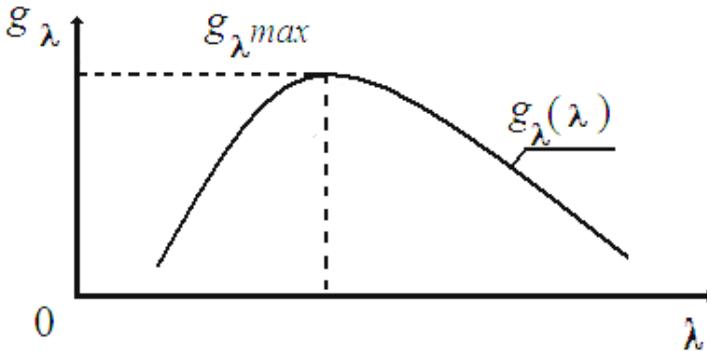


Рис. 1.10. Спектральная чувствительность приемника

Спектральную чувствительность приемника к монохроматическому потоку излучения определяют по формуле [1, 3, 4]:

$$g_{\lambda} = C \Phi_{\alpha\lambda} / \Phi_{\lambda}, \quad (1.28)$$

где C — коэффициент, определяемый выбором единиц измерения величины;

$\Phi_{\alpha\lambda}$ — поглощенный приемником поток монохроматического излучения;

Φ_{λ} — полный поток монохроматического излучения, падающий на приемник.

В некоторой части спектра спектральная чувствительность имеет максимальное значение $g_{\lambda_{\max}}$. Если все другие значения спектральной чувствительности $g_{\lambda}(\lambda)$ разделить на $g_{\lambda_{\max}}$, то получим *относительную спектральную чувствительность* $K_{\lambda}(\lambda)$:

$$K_{\lambda}(\lambda) = g_{\lambda}(\lambda) / g_{\lambda_{\max}} \quad (1.29)$$

Относительная спектральная чувствительность – величина безразмерная. Ею удобнее пользоваться для оценки спектральной чувствительности различных приемников. Она также может быть выражена графически.

Поглощенный приемником поток оптического излучения, преобразованный в нем в другой вид энергии и вызвавший ожидаемое полезное действие, называют *эффективным потоком*. Не весь поглощенный поток излучения оказывает эффективное действие на приемник. Некоторая его составляющая может оказывать и побочные эффекты или преобразовываться в тепловую энергию и расходоваться на нагрев приемника. К тому же спектральная чувствительность приемника, определяющая значение эффективного потока, для большинства приемников, в частности, биологических, характеризуется многофакторной зависимостью, в том числе и от внешних условий окружающей среды.

Если известна спектральная плотность потока излучения $\varphi_{e\lambda}$ и спектральная чувствительность приемника g_{λ} , то эффективный поток $\Phi_{\text{эф}}$ можно определить как

$$\Phi_{\text{эф}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_{e\lambda}(\lambda) \cdot g_{\lambda}(\lambda) d\lambda, \quad (1.30)$$

или

$$\Phi_{\text{эф}} = g_{\lambda_{\max}} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_{e\lambda}(\lambda) \cdot K_{\lambda}(\lambda) d\lambda. \quad (1.31)$$

Графическая иллюстрация определения эффективного потока приведена на рис. 1.11, где в одномерном масштабе изображены спектральная плотность потока излучения $\varphi_{e\lambda}$ и спектральная чувствительность приемника g_{λ} , а эффективный поток $\Phi_{\text{эф}}$ определяется площадью заштрихованной фигуры.

Преобразование оптического излучения начинается с поглощения энергии молекулами вещества и подчиняется законам Бугера–Ламберта, Эйнштейна, Бунзена–Роско и Арндта–Шульца.

Закон ослабления Бугера–Ламберта устанавливает взаимосвязь силы излучения I , прошедшего слой вещества среды толщиной l , и силы излучения на поверхности приемника I_0 :

$$I = I_0 e^{-k_\lambda l}, \quad (1.32)$$

где k_λ – показатель поглощения, определяемый физико-химическими свойствами вещества (величина, обратная расстоянию, на котором монохроматический поток излучения, образующий параллельный пучок, ослабляется за счет поглощения в веществе в e раз).

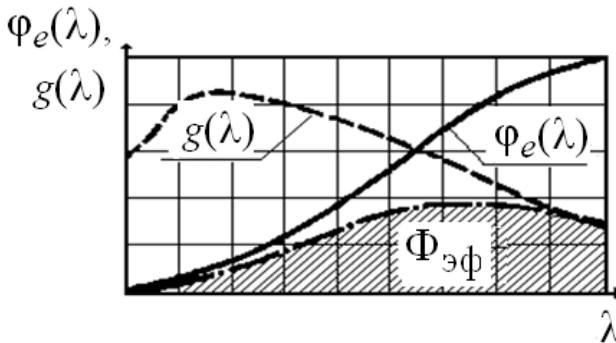


Рис. 1.11. Графическая иллюстрация определения эффективного потока

Учтя, что спектральный коэффициент поглощения равен $\alpha_\lambda = (\Phi_a)_\lambda / \Phi_\lambda$, а силы излучения пропорциональны соответствующим потокам $I_0 - I \equiv (\Phi_a)_\lambda$ и $I \equiv \Phi_\lambda$, то после несложных преобразований имеем:

$$\alpha_\lambda = 1 - e^{-k_\lambda l}. \quad (1.33)$$

Закон квантовой эквивалентности Эйнштейна указывает на то, что каждый поглощенный фотон вызывает одну элементарную реакцию. В частности, эта реакция может быть химическим превращением либо физическим возбуждением молекул вещества.

В соответствии с законом квантовой эквивалентности Эйнштейна число прореагировавших молекул n_α определяется поглощенной энергией фотонов излучения Q :

$$n_\alpha = \frac{Q}{h\nu}, \quad (1.34)$$

где h – постоянная Планка;

ν – частота монохроматического излучения.

Закон Бунзена–Роско определяет количественный процесс преобразования энергии излучения. Как правило, не вся поглощенная лучистая энергия преобразуется в эффективную (полезную). Например, при облучении растений часть поглощенной лучистой энергии расходуется на процесс фотосинтеза, а часть на нагрев листьев.

Количественно процесс преобразования энергии излучения определяют через показатель *квантовый выход* η_k :

$$\eta_k = n_{\alpha \text{ эф}} / n_\alpha, \quad (1.35)$$

где $n_{\alpha \text{ эф}}$ – количество эффективно преобразованных поглощенных фотонов;

n_α – количество поглощенных фотонов.

Так как $n_{\alpha \text{ эф}} = n_\alpha \eta_k = (Q / h\nu) \eta_k$, а $Q = \alpha_\lambda \Phi_\lambda \tau$ и $\alpha_\lambda = 1 - e^{-k_\lambda l}$, то

$$n_{\alpha \text{ эф}} = \eta_k \frac{(1 - e^{-k_\lambda l}) \Phi_\lambda \tau}{h\nu}, \quad \text{или, введя коэффициент } a = \eta_k \frac{(1 - e^{-k_\lambda l})}{h\nu},$$

значение которого определяется свойствами приемника, получим

$$n_{\alpha \text{ эф}} = a \Phi_\lambda \tau. \quad (1.36)$$

Формула (1.36) указывает, что количество эффективно преобразованных фотонов (например, при фотохимической реакции) определяется произведением мощности излучения Φ_λ на время его действия τ и не зависит от соотношения сомножителей. Из чего следует, что один и тот же эффект может быть получен варьированием значений лучистого потока или времени –

уменьшением лучистого потока и увеличением времени облучения или наоборот.

Закон Арндта–Шульца указывает на взаимосвязь мощности воздействующего оптического излучения и жизнедеятельности живых организмов: слабое раздражение возбуждает, среднее – подавляет и сильное – приостанавливает жизнедеятельность.

1.5. Количественная оценка эффективного действия оптического излучения

Количественная оценка эффективного действия оптического излучения в системе рассмотренных ранее энергетических величин и единиц их измерения (§ 1.2) представляет некоторые трудности. Для ее упрощения применительно к объектам сельскохозяйственного производства предложены другие системы, учитывающие эффект воздействия излучения на приемник: световая, бактерицидная, витальная и фотосинтетическая [3, 4]. Каждая из предложенных систем эффективных величин основана на спектральной чувствительности какого-то одного из группы близких по спектральной чувствительности приемников, который принято называть *образцовым* или *эталонным*⁶.

В качестве образцового приемника в системе *световых величин* принят усредненный светоадаптированный глаз человека, максимальное значение спектральной чувствительности которого наблюдается при длине волны $\lambda_{\max} = 555$ нм (рис 1.12). Система позволяет количественно оценить способность потока оптического излучения создавать видимость окружающих нас предметов.

Система *бактерицидных величин* определяет способность коротковолнового УФ-излучения губительно воздействовать на бактерии, приводя к их летальному исходу. Образцовый приемник, на базе которого построена система, учитывает усредненное избирательное действие излучения на различные виды бактерий. Максимальное значение спектральной чувствительности этого

⁶ Отметим, что спектральные чувствительности реальных приемников несколько отличаются от спектральной чувствительности образцового приемника, и расчет эффективного воздействия оптического излучения на каждый конкретный приемник с использованием той или иной системы эффективных величин является приближительным.

образцового приемника наблюдается при длине волны $\lambda_{\max} = 254$ нм (рис. 1.12).

Система *витальных величин*⁷ оценивает общебиологическое воздействие (антирахитное, тонизирующее, терапевтическое) УФ-излучения с длиной волны 0,28...0,38 мкм на организм человека и животных, сопровождаемое образованием эритемы (покраснения) на участках кожи, подвергнувшихся облучению. За образцовый приемник в этой системе принята кожа человека (рис. 1.12), максимальное значение спектральной чувствительности которой отмечается при длине волны $\lambda_{\max} = 297$ нм.

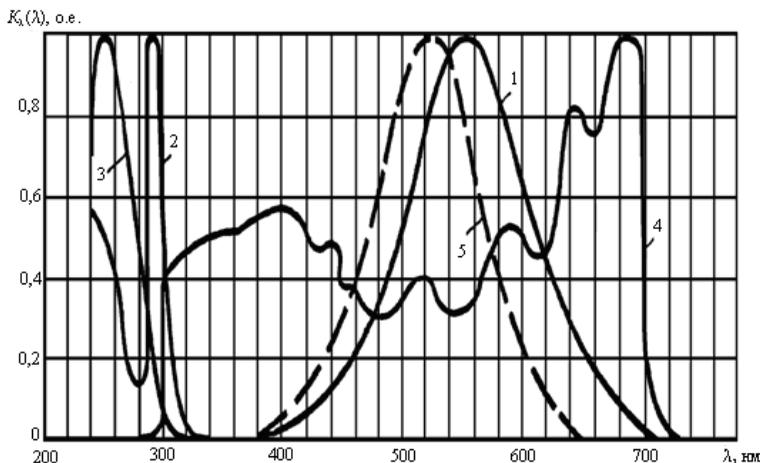


Рис. 1.12. Относительные спектральные чувствительности образцовых приемников: светoadaptированного усредненного глаза человека в условиях дневного зрения (1); кожи человека на витальное (2) и бактерий на летальное (3) действия ультрафиолетового излучения; среднего листа растений (4); усредненного глаза человека в условиях ночного зрения (5)

Система *фотосинтетических величин* оценивает эффективность реакции фотосинтеза в зеленом листе растений, в результате которой образуется их биомасса, из воздуха поглощается углекислый газ и выделяется кислород. За образцовый приемник в системе принят усредненный лист зеленого растения, относительная спек-

⁷ Система витальных величин ранее существовала под названием «система эритемных величин».

тральная чувствительность которого по И. И. Свентицкому [4] приведена на рис. 1.12. Максимальное значение спектральной чувствительности этого листа растений отмечается при длине волны $\lambda_{\max} = 680$ нм.

Эффективным потоком в **системе световых величин и единиц их измерения** является световой поток. За единицу светового потока в соответствии с международным соглашением принят люмен (лм). Люмен – световой поток, излучаемый абсолютно черным телом площадью $0,5305$ мм² при температуре затвердевания платины (2045 К).

Установлено, что при воздействии монохроматическим излучением с длиной волны 555 нм и мощностью 1 Вт на светоадаптированный глаз стандартного фотометрического наблюдателя создается 683 лм светового потока. Следовательно, число 683 лм · Вт⁻¹ является *световым эквивалентом мощности излучения*.

Значение светового потока Φ_C в общем потоке оптического излучения Φ_e можно определить по формуле

$$\Phi_C = 683 \int_{380\text{нм}}^{780\text{нм}} \varphi_{e\lambda}(\lambda) K_\lambda(\lambda) d\lambda, \quad (1.37)$$

где $\varphi_{e\lambda}$ – спектральная плотность потока излучения;

K_λ – относительная спектральная чувствительность светоадаптированного глаза стандартного фотометрического наблюдателя.

Другие величины системы световых величин, такие как сила света, освещенность, светимость, экспозиция, можно получить по аналогии с рассмотренными выше величинами системы энергетических величин (§ 1.2, приложение 1). Так, пространственную плотность светового потока (силу света) определяют отношением светового потока точечного источника Φ_C , расположенного в вершине телесного угла, к телесному углу ω , в пределах которого равномерно распределен этот поток, то есть

$$I_C = d\Phi_C / d\omega. \quad (1.38)$$

За единицу силы света принята кандела (кд), одна из основных единиц системы Си. Кандела равна силе света источника, испус-

кающего монохроматические излучения частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, значением в $1/683$ Вт \cdot ср $^{-1}$. Силу света в 1 кд излучает в перпендикулярном направлении элемент черного тела площадью $1/600\,000$ м 2 при температуре затвердевания платины (2045 К) и давлении 101 325 Па. Из определения силы света следует, что 1 кд = 1 лм \cdot ср $^{-1}$ или 1 лм = 1 кд \cdot ср.

Отношение светового потока Φ_C , падающего на поверхность и равномерно по ней распределяющегося, к площади этой поверхности S называют освещенностью E_C , то есть

$$E_C = d\Phi_C / dS. \quad (1.39)$$

За единицу освещенности принят люкс (лк), равный освещенности поверхности площадью 1 м 2 , на которой равномерно распределен световой поток в 1 лм (1 лк = 1 лм \cdot м $^{-2}$).

Плотность светового потока на поверхности источника (светимость) M_C , лк, определяют как

$$M_C = d\Phi_C / dS_{\text{ист}}, \quad (1.40)$$

где $S_{\text{ист}}$ – площадь излучающей поверхности источника, м 2 .

Количество энергии видимого излучения, приходящееся на единицу площади облучаемой поверхности в течение времени ее действия, называют световой экспозицией H_C , лк \cdot с:

$$H_C = \int_{t_1}^{t_2} E_C(t) dt, \quad (1.41)$$

где t – продолжительность облучения, с.

Величины и единицы измерения витального излучения. Принято считать, что общее благоприятное действие УФ-излучения на животных и птицу пропорционально его витальному действию.

Исходной величиной в системе витальных величин служит витальный поток Φ_V (приложение 1). За единицу измерения витального потока принято воздействие монохроматического лучистого

потока с длиной волны 297 нм и мощностью 1 Вт на образцовый приемник – кожу человека. Этой единице присвоено название *вит* (тысячная доля единицы – *милливит*, или сокращенно *мвит*).

Силой витального излучения I_B называется пространственная плотность витального потока, равная отношению витального потока Φ_B источника, расположенного в вершине телесного угла, к телесному углу ω , в котором равномерно распределено излучение, то есть $I_B = d\Phi_B / d\omega$. Единицей измерения силы витального излучения является *вит* · $ср^{-1}$ или *мвит* · $ср^{-1}$.

Плотность витального потока по поверхности облучаемого объекта называют витальной облученностью, или вита-облученностью E_B , которая определяется как $E_B = d\Phi_B / dS$. Единицей измерения витальной облученности служит *вит* · $м^{-2}$ или *мвит* · $м^{-2}$.

Витальная экспозиция (количество витального облучения) H_B , характеризующая количество энергии витального излучения упавшего на единицу облучаемой поверхности за время t , определяется по формуле

$$H_B = \int_{t_1}^{t_2} E_B(t) dt.$$

Единица измерения витальной экспозиции – *вит* · $с$ · $м^{-2}$ или *мвит* · $с$ · $м^{-2}$.

Величины и единицы измерения бактерицидного излучения. В бактерицидной системе величин эффективным потоком, определяемым по бактерицидному действию коротковолнового УФ-излучения на различные виды бактерий, является бактерицидный поток Φ_B . За единицу бактерицидного потока принято разрушающее действие на бактерии монохроматического излучения с длиной волны 254 нм и мощностью 1 Вт. Этой единице присвоено наименование *бакт* (*бк*), а его тысячная доля – *миллибакт* (*мбк*).

Остальные величины и единицы этой системы образованы аналогично вышеприведенным системам. Единицей измерения силы бактерицидного излучения I_B является *бк* · $ср^{-1}$ или *мбк* · $ср^{-1}$. Бактерицидную облученность E_B принято выражать в *бк* · $м^{-2}$ (*мбк* · $м^{-2}$), а бактерицидную экспозицию (количество бактерицидного облучения) H_B – в *бк* · $с$ · $м^{-2}$ (*мбк* · $с$ · $м^{-2}$).

В основе построения **фотосинтетической системы величин и единиц измерения** лежит понятие фитопотока. Фитопоток $\Phi_{\text{ф}}$ количественно определяет содержание в потоке излучения энергии, потенциально доступной растениям для осуществления реакции фотосинтеза. За единицу фитопотока принят *фит*, численно равный монохроматическому потоку оптического излучения мощностью 1 Вт с длиной волны 680 нм. В качестве производных величин в рассматриваемой эффективной системе используются: сила фитоизлучения $I_{\text{ф}}$ (пространственная плотность фитопотока), $\text{фит} \cdot \text{ср}^{-1}$; фитооблученность $E_{\text{ф}}$, $\text{фит} \cdot \text{м}^{-2}$; фитоэкспозиция $H_{\text{ф}}$ (количество фитооблучения), $\text{фит} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-2}$.

Величины и единицы измерения действия инфракрасного излучения. Эффективное тепловое действие ИК-излучений оценивают в абсолютных единицах энергетической системы величин: поток ИК-излучения $\Phi_{\text{ИК}}$, *Вт*; сила ИК-излучения $I_{\text{ИК}}$, $\text{Вт} \cdot \text{ср}^{-1}$; ИК-облученность $E_{\text{ИК}}$, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; экспозиция (количество облучения) ИК-излучения $H_{\text{ИК}}$, *Дж* · м⁻².

1.6. Измерение параметров оптического излучения

Измерение значений величин оптического излучения осуществляют визуальными (*зрительными*) или *физическими* методами.

Визуальные методы измерения используются применительно к видимому излучению. Они основаны на сравнении яркости, создаваемой двумя источниками излучения – эталонным и исследуемым. Примером визуального метода измерения является использование светоизмерительной скамьи для определения силы света источника [5].

При визуальных методах измерения индикатором светового излучения (приемником излучения) является глаз человека. Результаты измерений зависят от его индивидуальных особенностей, физического состояния и усталости организма наблюдающего, окружающих условий, продолжительности процесса наблюдения. Кроме того, точность визуальных измерений может быть искажена при отличающихся спектрах (цветности) излучения эталонного и исследуемого источников.

Наличие отмеченных недостатков повлекло замену глаза человека, как индикатора излучения, физическими приемниками, что

привело к переходу от визуальных методов измерения к физическим (объективным). В физических методах измерения оценивают оптическое излучение по его воздействию на электрические, физические, тепловые, химические и другие свойства приемников (первичных преобразователей) излучения.

Основные преимущества физических методов измерения:

- возможность непосредственной количественной оценки измеряемых величин;
- измерение величин оптического излучения не только в видимой, но и ИК- и УФ-областях;
- быстрота получения и воспроизводимость результатов измерения.

В физических методах измерения в качестве измерителей потока излучения применяют фотоприемники, подразделяемые на селективные, спектральная чувствительность которых приближена к спектральной чувствительности образцового приемника эффективной системы величин, и неселективные (неизбирательные), поглощающие всю энергию источника оптического излучения, независимо от ее распределения по спектру.

В неселективных приемниках энергия оптического излучения, как правило, преобразуется в тепловую. Идеальным неселективным приемником оптического излучения является абсолютно черное тело. Чтобы приблизить реальные тела к характеристикам абсолютно черного тела их зачерняют, покрывая копотью или окислами металлов, добиваясь снижения погрешностей измерений. В качестве неселективных приемников оптического излучения, как правило, применяют термоэлементы – термопары (термостолбики) и терморезисторы.

В качестве селективных применяют фотоэлектрические приемники оптического излучения, в которых, благодаря фотоэффекту, энергия оптического излучения преобразуется в электрическую. По механизму возникновения фотоэлектрического эффекта их подразделяют на: фотоэлементы с внешним фотоэффектом; фотоэлементы с внутренним фотоэффектом; фотоэлементы в запирающем слое (вентильные фотоэлементы).

Принцип действия *фотоэлементов с внешним фотоэффектом* основан на изменении их электрической проводимости за счет

эмиссии электронов материала катода при возбуждении его энергией оптического излучения. Разновидностью фотоэлементов с внешним фотоэффектом являются *фотоэлектронные умножители*, у которых фототок катода усиливается за счет вторичной электронной эмиссии.

В *фотоэлементах с внутренним фотоэффектом* изменение электрической проводимости происходит за счет высвобождения электронов кристаллической решетки под воздействием поглощенной энергии излучения. Примером подобных фотоэлементов являются фоторезисторы, фотодиоды и фототранзисторы.

Действие *фотоэлемента с запирающим слоем* основано на явлении возникновения электродвижущей силы на электродах под воздействием оптического излучения. Фотоэлементы с запирающим слоем не требуют дополнительных источников питания и промежуточных усилителей сигнала, характеризуются повышенной чувствительностью к величине облученности и линейной зависимостью тока от облученности.

Первичные преобразователи оптического излучения, используемые в измерительных приборах, сопоставляются по наиболее важным с точки зрения эксплуатации характеристикам: *спектральной чувствительности*⁸, *угловой погрешности*⁹, *инерционности*¹⁰, *утомлению*¹¹, *старению*¹². При сопоставлении характеристик важно анализировать влияние на них внешних воздействий (температуры и влажности окружающей среды, электрических и магнитных полей и др.).

Для оценки эффективного действия оптического излучения применяют специальные приборы, которые состоят из первичного

⁸ Соответствие спектральной чувствительности преобразователя спектральной чувствительности эталонного приемника. Несоответствия корректируются специальными фильтрами или введением поправочных коэффициентов при обработке результатов.

⁹ Реакция на изменение угла падения потока излучения на его приемную поверхность.

¹⁰ Время отставания момента реакции от момента изменения падающего потока излучения.

¹¹ Понижение чувствительности при длительном воздействии потока излучения.

¹² Необратимые изменения (понижение чувствительности) параметров и характеристик с течением времени.

преобразователя, источника питания (при необходимости), элементов электрической схемы (резисторы, потенциометры, выключатели, переключатели и др.) и измерительного прибора (микроамперметра или милливольтметра), проградуированного в единицах измерения эффективных величин оптического излучения.

Наиболее известными приборами, базирующимися на физических методах оценки эффективного действия оптического излучения, являются:

- для измерения светового действия оптического излучения – люксометры, например, Ю-116, серий ТКА, TESTO, ARGUS-12 и др.;
- для измерения коэффициента пульсации освещенности (светового потока) – пульсметры, например, серий ТКА, «Эколайт» и др.;
- для измерения яркости (светимости) источников и поверхностей – яркометры, например, серии «Эколайт» и др.;
- для измерения энергетической облученности в спектральном диапазоне ультрафиолетового излучения – радиометры, например, серии ТКА и др.;
- для измерения витальной облученности – уфиметры, например, УФМ-71, УФИ-73 и др.;
- измерения фотосинтетически активной радиации – фитофотометры, например, ФФМ-71 и ФИТОМ-70 и др.;
- для измерения инфракрасной облученности го излучения – пиранометры, фотошупы и различного рода термостолбики.

Следует заметить, что существуют комбинированные приборы, позволяющие одним прибором измерять несколько параметров, например, «Пульсметр+Люксметр», «Люксметр+Яркомер», «Люксметр+УФ-радиометр» и др.

Прибор комбинированный ТКА–ПКМ/31 (люксметр) предназначен для измерения освещенности в видимой части спектра. Конструктивно состоит из двух функциональных блоков: фотометрическая головка и блок обработки сигналов, соединенные между собой гибким двухжильным кабелем (рис. 1.13).

На лицевой стороне блока обработки сигналов расположены переключатель пределов измерений и жидкокристаллический индикатор, в фотометрической головке – фотоприемник и батарейный отсек.

Принцип действия прибора заключается в преобразовании фотоприемником оптического излучения в электрический сигнал

с последующей цифровой индикацией числовых значений. Для измерения достаточно расположить фотометрическую головку прибора в плоскости измеряемого объекта.



Рис. 1.13. Общий вид люксметра ТКА-ПКМ/31

Технические параметры люксметра ТКА-ПКМ/31: диапазон измерения – 10...200 000 лк; предел допускаемой погрешности – $\pm 8,0\%$; пределы измерения – до 20; 200; 2000; 20 000 и 200 000 лк; источник питания – батарея «Крона»; масса – 0,4 кг; габаритные размеры блока обработки сигналов – 130×70×30 мм.

Люксметры TESTO позволяют не только измерять освещенность, но и сохранять результаты измерений в памяти прибора. При этом результаты измерений могут быть переданы в память компьютера, а затем с помощью специального программного обеспечения может быть сформирован список объектов замеров или построены графики изменения интенсивности освещения.

Люксметр **TESTO 540** (рис. 1.14, а) имеет диапазон измерений от 0 до 100 000 лк. Первичный преобразователь люксметра адаптирован к спектральной чувствительности глаза человека. В приборе реализованы функции считывания данных измерений и отображения максимального и минимального значений измерений. Разрешение прибора – 1 лк в диапазоне 0...19,999 лк и 10 лк в остальном диапазоне. Погрешность измерений – 5 %. Габариты – 113×46×25 мм. Масса – 95 г. Для питания прибора используется батарейка типа ААА.

Люксметр **TESTO 545** (рис. 1.14, б) может работать в качестве накопителя данных, записывая измерения через заданные проме-

жутки времени. В приборе реализована функция усреднения результатов по времени и количеству замеров. Объем памяти прибора – до 3000 измерений. В памяти сохраняется до 99 названий мест проведения замеров. Данные по месту замеров могут быть распечатаны на принтере TESTO.



Рис. 1.14. Общий вид приборов TESTO 540 (а) и TESTO 545 (б)

Технические параметры прибора: диапазон измерения – 1...100 000 лк; погрешность измерения – 3,0 %; разрешение прибора – 1 лк в диапазоне 32 000 лк и 10 лк в остальном диапазоне; габаритные размеры (без первичного преобразователя) – 220×68×50 мм; масса – 500 г. Для питания прибора используется батарея «Крона».

Для измерения коэффициента пульсации источников излучения и освещенности может быть использован **Пульсметр+Люксметр** серии ТКА (рис. 1.15, а).

Принцип действия прибора заключается в преобразовании фотоприемником оптического излучения в электрический сигнал с последующей его обработкой микроконтроллером и цифровой индикацией на жидкокристаллическом дисплее числовых значений коэффициента пульсаций (в %) и освещенности (в лк). В приборе предусмотрена возможность передачи информации через RS-232 или USB порты.

Первичный преобразователь оптического излучения прибора (полупроводниковый кремниевый фотодиод) оборудован системой светофильтров, формирующих его спектральную чувствительность, соответствующую относительной световой спектральной эффективности усредненного глаза человека.



Рис. 1.15. Общий вид приборов Пульсметр+Люксметр серии ТКА (а) и Люксметр+Яркомер+Пульсметр «Эколайт-02» (б)

Показания коэффициента пульсации индицируются в процентах, при этом прибор определяет максимальное, минимальное и среднее значение освещенности пульсирующего излучения и рассчитывает значение коэффициента пульсации.

Основные технические параметры прибора: диапазоны измерений освещенности – 10...200 000 лк и коэффициента пульсации – 1...100 %; погрешности измерений освещенности – ± 8 % и коэффициента пульсации – ± 10 %; габаритные размеры измерительного блока – 160×85×30 мм и фотометрической головки – $\varnothing 36 \times 21$ мм; масса (не более) – 0,5 кг. Для питания прибора используется батарея «Крона».

Люксметр+Яркомер+Пульсметр «Эколайт-02» применяют для измерения освещенности, создаваемой различными произвольно пространственно расположенными источниками, яркости самосветящихся объектов и коэффициента пульсации светового потока (освещенности).

Прибор состоит из блока обработки информации, фотоприемника и кабеля связи между ними (рис. 1.15, б). Его технические параметры: диапазоны измерений освещенности – 10...200 000 лк, яркости – 1...200 000 кд·м⁻² и коэффициента пульсации – 1...100 %; погрешности измерений (%) освещенности – $\pm 8,0$, яркости – $\pm 10,0$ и коэффициента пульсации – $\pm 10,0$; габаритные размеры (мм) измерительного блока – 210×70×40 и фотометрической головки –

150×50×25; масса – 0,5 кг. Для питания прибора используется батарейка типоразмера АА (1,5 В).

Радиометр ТКА-ПКМ служит для измерения энергетической облученности в спектральных диапазонах ультрафиолетового излучения – 315...400 нм (зона УФ-А), 280...315 нм (УФ-В) и 200...280 нм (УФ-С). Особенностью его конструкции является использование одной несменной фотометрической головки для измерения излучения в трех спектральных диапазонах (рис. 1.16, а).



Рис. 1.16. Общий вид радиометра ТКА-ПКМ (а) и люксметра+радиометра ТКА-01/3 (б)

Технические параметры прибора: диапазон измерения энергетической облученности в спектральном диапазоне ($\text{мВт} \cdot \text{м}^{-2}$) 200...280 нм – 10...200 000 и 280...315 нм – 10...60 000; допустимая погрешность измерения – $\pm 17,0\%$; масса прибора (не более) – 0,4 кг. Для питания прибора используется батарея (типоразмер «Крона»).

Люксметр+радиометр ТКА-ПКМ (ТКА-01/3) служит для измерения освещенности в видимой области спектра и энергетической облученности в области спектра УФ-излучения (280...400 нм). Его внешний вид приведен на рис. 1.16, б.

Технические параметры прибора: диапазоны измерения: освещенности – 10...200 000 лк и энергетической облученности – 10...60 000 $\text{мВт} \cdot \text{м}^{-2}$; пределы допустимой погрешности измерений

(%) освещенности $\pm 8,0$ и энергетической облученности $\pm 10,0$: масса – 0,43 кг. Для питания прибора используется батарея (типоразмер «Крона»).

Пиранометр Янишевского предназначен для измерения энергетической облученности оптического излучения с длиной волны 300...2400 нм. Приемной частью прибора служит термобатарея из манганиновых и константовых ленточек, спаянных между собой последовательно. Поверхность термобатареи покрыта сажей и магнетезией, так что четные спаи окрашены в один цвет, а нечетные – в другой. Такое решение позволяет получить практически неизбирательную спектральную чувствительность приемника к излучениям различных длин волн указанного интервала.

Измерительным индикатором в приборе служит стрелочный гальванометр ГСА-1, проградуированный $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$.

Приборы, предназначенные для измерения облученности (освещенности), могут быть использованы при определении значения и других величин оптического излучения, например, силы или потока излучения (силы света или светового потока).

Так, если поверхность первичного преобразователя, например люксметра, разместить перпендикулярно направлению силы света источника ($\angle\beta = 0$) и измерить значение освещенности E_C , то в соответствии с формулой (1.11) значение силы света I_C можно определить как

$$I_C = E_C / l^2, \quad (1.42)$$

где l – расстояние от источника до плоскости фотоэлемента измерительного прибора, м.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните физическую сущность получения оптического излучения. Какие параметры характеризуют его волновую и квантовую природу?

2. Укажите границы областей спектра оптического излучения и характерных его участков (зон, диапазонов). Расскажите о свойствах УФ- (по зонам УФ-А, УФ-В, УФ-С), видимого и ИК-излучений и приведите примеры использования в сельскохозяйственном производстве.

3. Разъясните физический смысл понятий: спектральная плотность потока излучения, поток излучения, сила излучения, плотность облучения (облученность), доза облучения (экспозиция).

4. Перечислите основные величины энергетической системы измерения оптического излучения и единицы их измерения.

5. Что такое кривая силы излучения источника и как с ее помощью можно определить поток излучения?

6. По каким формулам рассчитывается облученность от точечного источника горизонтальной и наклонной поверхностей?

7. Поясните понятия спектральной чувствительности приемников и физический смысл эффективного потока оптического излучения.

8. Что Вы знаете о системе световых величин и единиц их измерения?

9. Перечислите существующие системы эффективных величин измерения оптического излучения (витальной, бактерицидной, фотосинтетической), используемые в них величины и единицы их измерения. Объясните, на основании спектральной чувствительности каких образцовых приемников они разработаны.

10. Перечислите основные характеристики первичных преобразователей оптического излучения, используемые в приборах для измерения оптического излучения.

11. Какие приборы для измерения параметров видимого излучения Вы знаете? Их устройство, область применения и основные технические характеристики.

12. Какие приборы для измерения параметров витального (бактерицидного, фотосинтетического) излучения Вы знаете? Их устройство, область применения и основные технические характеристики.

2. ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

2.1. Классификация и параметры источников

Источником оптического излучения (*лампой*) называют устройство, преобразующее любой вид энергии в энергию электромагнитного излучения оптической области спектра. В зависимости от способа получения оптического излучения источники подразделяют на классы:

- теплового излучения;
- газоразрядные (в свою очередь подразделяемые на источники низкого, высокого и сверхвысокого давления);
- смешанного (теплового и газоразрядного) излучения;
- твердотельные (светодиоды и электролюминесцентные панели);
- индукционные;
- импульсные и лазерные излучатели.

Из приведенных классов в дальнейшем рассмотрим только те, которые базируются на использовании электрической энергии и широко применяются в сельскохозяйственном производстве или являются перспективными для использования.

Источники выбирают и сопоставляют по их параметрам:

1) *электрическим*:

- роду тока (переменный или постоянный);
- номинальному напряжению, например, 12, 36, 230 и 400¹³ В, или диапазону изменения напряжения 215...225, 220...230, 225...235 и т. д.;
- номинальной мощности, Вт.

2) *светотехническим*¹⁴:

- световому потоку, лм;
- световой отдаче¹⁵, лм · Вт⁻¹;

¹³ ГОСТ29322–92 [6] установил стандарт номинальных напряжений 400/230 В, однако на практике при обозначении параметров электротехнического оборудования чаще всего указываются напряжения 380/220 В. Поэтому в дальнейшем при указании значений параметров источников, как правило, приводятся данные заводов-изготовителей.

¹⁴ Параметры перечислены применительно к источникам видимого излучения.

¹⁵ Отношение значения излучаемого светового потока к потребляемой электрической мощности.

- коэффициенту пульсации светового потока¹⁶, %;
- спектру излучения;
- цветовой температуре¹⁷;
- индексу цветопередачи¹⁸.

3) эксплуатационным:

- срокам службы, час (полным¹⁹, средним²⁰, гарантированным²¹);
- характеру изменения показателей при хранении и эксплуатации²².

¹⁶ Подключенные к сети переменного тока источники излучают световой поток, синхронно изменяющийся с удвоенной частотой сети. Пульсация светового потока приводит к снижению работоспособности глаза наблюдателя и может вызвать стробоскопический эффект, последствием которого зачастую является травматизм работающего. Определяется как отношение разницы максимального Φ_{\max} и минимального Φ_{\min} значений светового потока источника за период колебаний к удвоенному значению его средней величины $\Phi_{\text{ср}}$:

$$K_{\text{п}} = (\Phi_{\max} - \Phi_{\min}) / (2\Phi_{\text{ср}}).$$

¹⁷ Цветовая температура, К – это температура излучения абсолютно черного тела, при которой его относительные спектральные плотности излучения совпадают с относительными спектральными плотностями излучения реального источника.

¹⁸ Видимое излучение, отражаясь от окружающих предметов, по-разному передают их цветовую гамму. Для оценки качества цветопередачи применяют показатель *индекс (коэффициент) цветопередачи* R_a , который указывает на соответствие зрительного восприятия цвета при освещении объекта исследуемым и эталонным источниками. Максимальное значение $R_a = 100$. Источники с индексом 90 и более характеризуются хорошей цветопередачей, так как передают все цвета почти натурально. Источники с $R_a \leq 50$ цвета освещаемых объектов передают в искаженном виде и характеризуются неудовлетворительной цветопередачей.

¹⁹ Число часов работы источника до момента выхода его из строя.

²⁰ Среднеарифметическое значение полных сроков службы не менее 10 источников (приводится заводами-изготовителями в качестве номинального срока службы).

²¹ Гарантированная заводом-изготовителем минимальная продолжительность работы.

²² Показатели работы источника изменяются при хранении и эксплуатации. Для организации эффективной эксплуатации эти изменения необходимо учитывать, особенно при работе в условиях, отличающихся от рекомендуемых оптимальных значений температуры и влажности окружающей среды, а также диапазона изменения напряжения электрической сети.

4) *стоимостным*:

- стоимости источника и необходимой пускорегулирующей аппаратуры;
- материалоемкости изделия;
- затратам и трудоемкости обслуживания.

2.2. Тепловые источники оптического излучения

В источниках теплового излучения энергия электромагнитного излучения оптической области спектра образуется при преобразовании энергии теплового движения атомов и молекул тела. Типичным представителем таких источников являются лампы накаливания.

2.2.1. Основные положения теории теплового излучения

Основные законы теплового излучения (Планка, Стефана–Больцмана, Вина, Кирхгофа) сформулированы применительно к абсолютно *черному телу*.

Закон Стефана–Больцмана устанавливает связь между плотностью потока оптического излучения поверхности излучателя $M_{\text{и}}$ и его температурой T :

$$M_{\text{и}} = \sigma T^4, \quad (2.1)$$

где $M_{\text{и}}$ – плотность потока излучения поверхности абсолютно черного тела, Вт · м⁻²;

σ – постоянная, равная $5,672 \cdot 10^{-8}$ Вт · м⁻² · град⁻⁴;

T – температура, К.

Из чего следует, что плотность потока оптического излучения зависит только от его температуры и пропорциональна ее четвертой степени.

Закон Планка определяет зависимость спектральной плотности потока излучения абсолютно черного тела φ_{e} от длины волны излучения λ (мкм) и абсолютной температуры полного излучателя T (К):

$$\varphi_{\text{e}}(\lambda, T) = C_1 / [\lambda^5 (e^{(C_2/\lambda T)} - 1)], \quad (2.2)$$

где $\varphi_{\text{e}}(\lambda, T)$ – спектральная плотность потока излучения абсолютно черного тела, Вт · м⁻² · мкм⁻¹;

C_1 – постоянная, равная $3,74 \cdot 10^8 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^4$;
 C_2 – постоянная, равная $1,43 \cdot 10^4 \text{ мкм} \cdot \text{град}$;
 e – основание натурального логарифма.

Зависимости спектральной плотности потока излучения абсолютно черного тела для различных значений температуры проиллюстрированы на рис. 2.1.

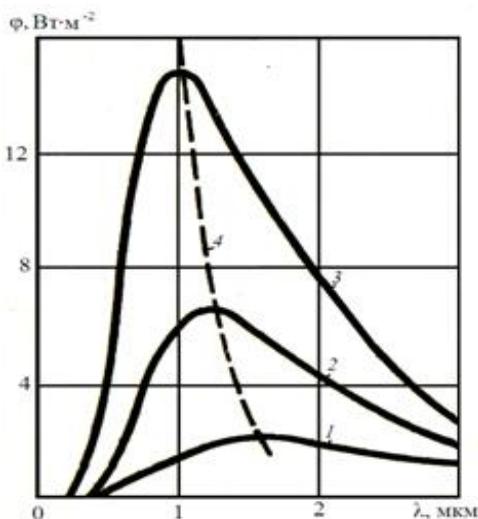


Рис. 2.1. Спектральная плотность потока излучения абсолютно черного тела для различных значений температуры:
 1 – $T = 1800 \text{ К}$ ($\lambda_{\text{max}} = 1,61 \text{ мкм}$);
 2 – $T = 2200 \text{ К}$ ($\lambda_{\text{max}} = 1,31 \text{ мкм}$);
 3 – $T = 2600 \text{ К}$, $\lambda_{\text{max}} = 1,11 \text{ мкм}$.
 Кривая 4 – иллюстрация закона смещения Вина

Закон смещения Вина устанавливает взаимосвязь между абсолютной температурой полного излучателя и длиной волны, при которой спектральная плотность излучения облучателя имеет максимум

$$\lambda_{\text{max}} T = 2896 \text{ мкм К.} \quad (2.3)$$

Из него следует, что при повышении температуры абсолютно черного тела максимальное значение спектральной плотности его излучения смещается в сторону более коротких длин волн.

Подставив в (2.3) предельные значения длин волн области видимого излучения, приходим к выводу, что максимальное значение спектральной плотности излучения абсолютно черного тела находится в пределах области видимого излучения при температуре 3750...7800 К.

Способность реальных тел излучать и поглощать оптическое излучение определяется *законом Кирхгофа*, который гласит, что отношение плотностей потока оптического излучения поверхностей реальных излучателей $M_{и_i}$ с одинаковыми размерами, формой и температурой равно отношению их коэффициентов поглощения α_i :

$$M_{и_1} / M_{и_2} = \alpha_1 / \alpha_2, \text{ при } T = \text{const} \quad (2.4)$$

А так как коэффициент поглощения абсолютно черного тела равен 1, то

$$M_{и_1} / \alpha_1 = M_{и_2} / \alpha_2 = \dots = M_{и_n} / \alpha_n = M_{и}, \quad (2.5)$$

где $M_{и}$ – плотность потока излучения абсолютно черного тела, Вт · м⁻².

Из уравнения (2.5) следует, что отношение плотностей потока излучения реальных излучателей к их коэффициентам поглощения – величина постоянная. Так как коэффициенты поглощения реальных тел $\alpha_i < 1$, то плотность их потока излучения всегда меньше плотности потока излучения поверхности абсолютно черного тела при одинаковых размерах, форме и температуре.

Анализируя рассмотренные законы применительно к абсолютно черному телу, как идеальному излучателю, имеет смысл определить его максимальный коэффициент полезного действия (КПД) для области видимого излучения η_c , который равен отношению (в энергетической системе величин и единиц измерения) светового потока Φ_c (1.37) к полному потоку Φ_Σ (1.7) излучения:

$$\eta_c = \Phi_c / \Phi_\Sigma, \text{ отн. ед.} \quad (2.6)$$

Численный анализ показывает, что при повышении температуры излучателя его световой КПД возрастает, в том числе и из-за смещения максимального значения спектральной плотности излучения в сторону коротких волн. Наибольшего значения ($\approx 14,5$ % при световой отдаче $89,5 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$) он достигает при температуре $\approx 6600 \text{ К}$, когда максимальное значение спектральной плотности излучения находится в области видимой части спектра. Дальнейшее увеличение температуры приводит к смещению максимального значения

спектральной плотности излучения в сторону коротких длин волн и уменьшению светового КПД источника.

Следует отметить, что реальные материалы, используемые при изготовлении источников теплового излучения, не обладают свойствами абсолютно черного тела, но использование некоторых специальных подходов позволяет применять к ним приведенные законы, что дает возможность анализировать их поведение при изменении температуры.

При подобном численном анализе оказывается, что для некоторых реальных металлов, например, вольфрама, максимальное значение спектральной плотности излучения при одинаковой температуре лежит в стороне более коротких волн в сравнении с абсолютно черным телом. Такое смещение приводит к возрастанию светового КПД излучателя из вольфрама, который при температуре плавления (≈ 3660 К) достигает 8,1 % при световой отдаче $55 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$.

2.2.2. Лампы накаливания общего назначения

Лампы накаливания, несмотря на присущие им недостатки – невысокую световую отдачу и сравнительно небольшой срок службы, все еще применяются в осветительных установках, что обусловлено их относительно низкой стоимостью, простотой схемы включения, разнообразием конструкций, напряжений и мощностей, незначительными первоначальными затратами на оборудование и обслуживание.

При многообразии конструкций все лампы накаливания (рис. 2.2) состоят из: стеклянной колбы 1, изолирующей тело накала от внешней среды; тела накала 2, изготовленного из вольфрамовой проволоки; молибденовых крючков 3, определяющих форму тела накала и препятствующих его провисанию; никелевых токоподводящих электродов 4; стеклянного стержня (штабика) 6, верхняя часть которого завершается утолщением (линзой) 5, куда впаяны крючки; стеклянного цилиндра 10, отпрессованного в верхней части (лопаточкой) 7, где соединены штабик 6, электроды 4 и откачная трубка (штенгель) 9 с отверстием 8; резьбового металлического цоколя 12, к которому припаян один из токоподводящих электродов; изолированной от цоколя контактной шайбы 13 с припаянным вторым токоподводящим электродом. Колба и цоколь лампы соединены специальной мастикой 11, контактная шайба крепится к цоколю электроизоляционной стекломассой.

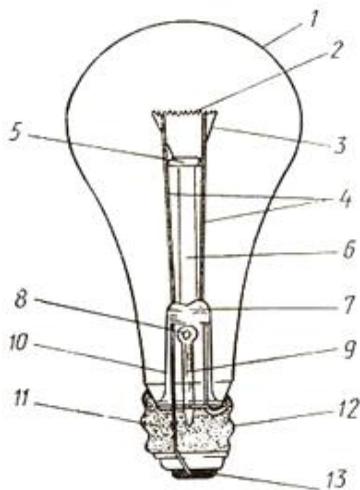


Рис. 2.2. Устройство лампы накаливания:

- 1 – колба; 2 – тело накала;
- 3 – крючки-держатели;
- 4 – электроды; 5 – линза;
- 6 – штабик; 7 – лопаточка;
- 8 – откачное отверстие;
- 9 – штенгель; 10 – полый цилиндр; 11 – мастика;
- 12 – цоколь;
- 13 – контактная шайба

Тело накала лампы изготавливают в виде нити или спирали (биспираль²³) из вольфрама, обладающего высокой пластичностью и низкой скоростью испарения. При разогреве тела накала до рабочих температур (2400...2900 К) вольфрам начинает испаряться, его частицы оседают на внутренней поверхности колбы, вызывая ее потемнение, диаметр нити тела накала уменьшается, соответственно уменьшая мощность, световую отдачу и срок службы лампы. Для снижения скорости испарения вольфрама из стеклянной колбы откачивается воздух (вакуумные лампы) и колба заполняется смесью инертных газов (газонаполненные лампы): азота (14 %) – для предотвращения электрического пробоя между неизолированными токоведущими частями, аргона или криптона и ксенона (86 %) – для уменьшения тепловых потерь от тела накала через колбу лампы.

Наличие в колбе инертных газов препятствует распылению вольфрама и уменьшает тепловые потери, что позволяет повысить рабочую температуру тела накала с 2400 у вакуумных до 2700 (аргон-азотная смесь)...2800 К (криптон-ксеноновая смесь) у газонаполненных ламп²⁴, а следовательно, и световую отдачу, без уменьшения срока службы.

²³ Биспираль – спираль, повторно свернутая в виде спирали.

²⁴ Смесь криптона и ксенона более эффективна в плане снижения тепловых потерь, но дороже в сравнении с аргоном.

Обозначение ламп накаливания общего назначения включает буквы (от одной до четырех), первые из которых указывают особенности изготовления тела накала и заполнения стеклянной колбы: В – вакуумная; Г – газонаполненная моноспиральная (аргон-азотная смесь); Б – газонаполненная биспиральная (аргон-азотная смесь); БК – газонаполненная биспиральная (криптон-ксеноновая смесь). Далее следуют буквы, указывающие на особенности изготовления колбы: МТ – матированная; МЛ – молочного цвета; О – опаловая; З – зеркальная и т. д. Через дефисы после буквенного выражения следуют цифры, определяющие: номинальное напряжение (диапазон напряжения питания) в вольтах; номинальную мощность в ваттах и порядковый номер разработки.

Буквенные обозначения специальных ламп накаливания в основном определяют их назначение и не характеризуют особенности конструкции. Так, лампы для местного освещения обозначают буквами МО, МОД (с диффузно отражающим покрытием) и МОЗ (с зеркальным покрытием); прожекторные – ПЖ; автомобильные – А, АМН и АС; зеркальные лампы-светильники – ЗК, ЗС, ЗШ, ЗГ; миниатюрные – ММ и др.

Технические параметры некоторых ламп приведены в приложении 2.

Пример условного обозначения ламп накаливания общего назначения:

Г220-230-200 – газонаполненная с обычной стеклянной колбой, на диапазон напряжений 220...230 В, номинальной мощностью 200 Вт.

Лампы накаливания общего назначения изготавливают мощностью от 15 до 1500 Вт на различные номинальные напряжения – 12, 24, 36 В или допустимые диапазоны их изменения – 215...225, 225...235, 235...245, 245...255 В. При этом для ламп, изготавливаемых на допустимый диапазон изменения напряжения, за номинальное принимают напряжения середины диапазона, например, 220 В для диапазона 215...225 В и т. д. Для этого напряжения приводятся номинальные значения светотехнических и эксплуатационных параметров, в том числе и срока службы.

Вакуумные лампы изготавливают мощностью до 25 Вт включительно, биспиральные, наполненные криптон-ксеноновой смесью – 40...200 Вт, биспиральные, наполненные аргон-азотной смесью – 40...1500 Вт.

Геометрические размеры ламп накаливания зависят от их назначения, мощности и состава смеси заполнения колбы. При этом тип их резьбового цоколя в основном определяется мощностью и может быть E14 (14 мм) или E27 (27 мм) для ламп мощностью 15...200 Вт, E27 и E40 (40 мм) – 300 Вт и E40 – 300 и более Вт.

Световая отдача у ламп накаливания определяется пределами $7,5...20 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$. Их номинальный срок службы равен 1000 ч, а гарантированный – не менее 700 ч.

В процессе эксплуатации лампы накаливания ее световой поток уменьшается. Для ламп, проработавших 75 % своего номинального срока службы, допустимое уменьшение светового потока до 72...85 % номинального значения в зависимости от типа ламп и мощности.

Отклонение питающего напряжения от его номинального значения существенно влияет на изменение параметров ламп накаливания (рис. 2.3).

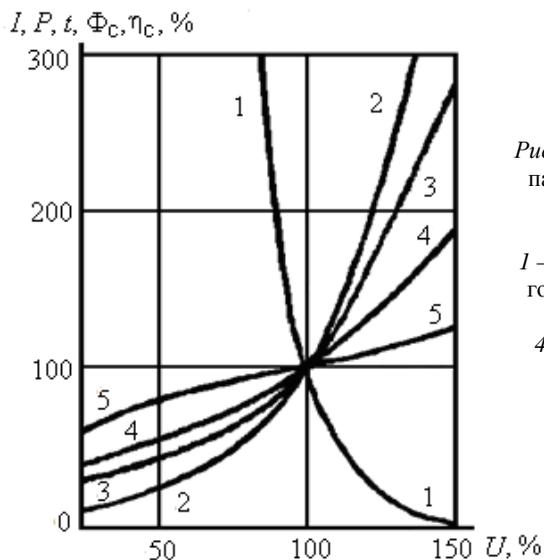


Рис. 2.3. Зависимости изменения параметров ламп накаливания от изменения напряжения питающей сети:

- 1 – средней продолжительности горения;
- 2 – светового потока;
- 3 – световой отдачи;
- 4 – потребляемой мощности;
- 5 – тока

Если напряжение выше номинального значения, то возрастают ток, мощность, световой поток и световая отдача и снижается средняя продолжительность горения. При изменениях напряжения до $\pm 10\%$ можно считать, что отклонение напряжения на $\pm 1\%$

от номинального изменяет световой поток примерно на $\pm 4 \dots 5 \%$, а среднюю продолжительность горения до $- 6 \dots 7$ и $+ 13 \dots 25 \%$.

Взаимосвязь параметров ламп накаливания с отклонением напряжения питания в интервале $0,9 \dots 1,1 U_n$ аппроксимируется отношениями

$$I / I_n = (U / U_n)^{0,33}; P / P_n = (U / U_n)^{1,6}; \Phi_c / \Phi_{cn} = (U / U_n)^{3,6}; \\ \eta_c / \eta_{cn} = (U / U_n)^{2,0}; t / t_n = (U / U_n)^{-11,2 \dots 14,8},$$

где $I_n, U_n, P_n, \Phi_{cn}, \eta_{cn}, t_n$ – номинальные значения тока, напряжения, мощности, светового потока, световой отдачи и срока службы;

I, P, Φ_c, η_c, t – значения соответствующих параметров при работе лампы накаливания в сети с напряжением U .

Учитывая повышенную чувствительность ламп накаливания к напряжению, необходимо при их выборе обращать особое внимание на то, чтобы указанный в типе лампы допустимый диапазон изменения напряжения соответствовал действительным значениям отклонений напряжения питающей сети, в которой ее предполагается эксплуатировать.

Несоблюдение этого требования приводит к тому, что при работе электрические, светотехнические и эксплуатационные параметры ламп существенно отличаются от указанных в паспорте завода-изготовителя. Например, при включении лампы Б220-230-100 на номинальное напряжение 220 В ее потребляемая мощность понизится и будет равна 97 Вт (-3%), световой поток – 1250 лм ($-7,4 \%$), а срок службы увеличится до 1300 ч ($+30 \%$).

Эксплуатировать лампы накаливания общего назначения необходимо при относительной влажности окружающей среды не более 98% , температуре от -60 до $+50$ °С и внешнем давлении $68 \dots 101$ кПа ($550 \dots 760$ мм рт. ст.). При эксплуатации следует помнить, что это хрупкие электро- и пожароопасные изделия, не допускающие даже кратковременного соприкосновения с водой в рабочем режиме. Температура колбы лампы при эксплуатации достигает 523 К и зависит от ее положения в пространстве.

Анализируя параметры ламп накаливания (приложение 2) замечаем, что их световая отдача значительно ниже теоретически возможной.

2.2.3. Кварцевые галогенные лампы накаливания

Существенным шагом в направлении совершенствования ламп накаливания явилось появление галогенных ламп накаливания, принцип действия которых может быть пояснен схемой (рис. 2.4), где W – атом вольфрама; nX – n атомов галогена (бром, йод); WX_n – молекула галогенида вольфрама.

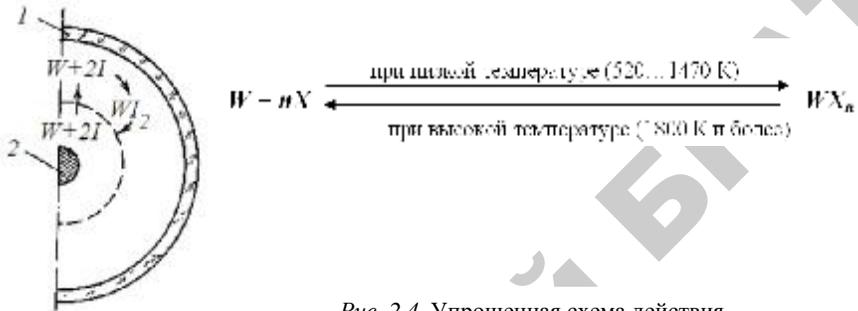


Рис. 2.4. Упрощенная схема действия вольфрамо-йодного цикла:

1 – колба из кварцевого стекла;

2 – тело накала в виде вольфрамовой спирали

Добавка галогена в колбу лампы с вольфрамовым телом накала вызывает замкнутый химический цикл, сущность которого для наглядности проследим на примере йода – наименее агрессивного из всех галогенов и используемого наряду с бромом в виде углеводородных соединений в конструкциях галогенных ламп накаливания.

В рабочем режиме частички вольфрама с тела накала испаряются и оседают на стенках колбы лампы. У стенок колбы пары йода соединяются с частичками вольфрама, образуя галогенид – йодистый вольфрам. Это газообразное соединение улетучивается и, из-за повышенной концентрации у стенок, диффузирует в направлении к раскаленной вольфрамовой спирали. Вблизи вольфрамовой спирали йодистый вольфрам распадается на исходные составные части – вольфрам, атомы которого оседают на тело накала, и йод. Освободившиеся атомы йода под действием диффузии движутся в обратном направлении к стенкам колбы, где соединяются с новой порцией вольфрама. Таким образом осуществляется регенерация испарившегося вольфрама обратно на тело накала.

Вольфрамо-галогенный цикл препятствует осаждению вольфрама на стенки колбы лампы, сохраняя их чистыми, светлыми и прозрачными на протяжении всего срока службы. Но он не способен восстановить тело накала в первоначальном виде, не обеспечивает возврат частиц вольфрама на дефектные участки тела накала и не «залечивает» наиболее горячие точки вольфрамовой спирали, с которых испарение вольфрама происходит особенно интенсивно.

Кварцевые галогенные лампы накаливания (рис. 2.5) характеризуются различной формой конструктивного исполнения, высокой стабильностью светового потока на протяжении всего срока службы, малыми габаритами и массой, нечувствительностью к кратковременному повышению питающего напряжения, резким перепадам температуры и условиям окружающей среды. Они отличаются повышенным сроком службы (2...10 тыс. ч), более высокой термостойкостью и механической прочностью, относительно высокой для ламп накаливания световой отдачей (22...29 лм · Вт⁻¹).



Рис. 2.5. Конструкция трубчатой кварцевой галогенной лампы накаливания:
1 – трубчатая колба из кварцевого стекла; 2 – тело накала из вольфрамовой спирали;
3 – держатели тела накала; 4 – электроды; 5 – токоподводы;
6 – молибденовая фольга; 7 – штенгель

Сфера их использования постоянно расширяется. Они применяются в разнообразных оптических приборах, кино- и диапроекторной аппаратуре, для общего освещения, в световых приборах автомобилей и самолетов, как источники ИК-излучения.

Среди их недостатков следует отметить то, что из-за высокой стоимости кварцевого стекла и недостаточной технологичности изготовления они относительно дороги, к тому же длинные трубчатые лампы следует эксплуатировать только в горизонтальном положении.

Промышленность для применения в осветительных установках выпускает галогенные лампы накаливания типа КГ преимущественно

на напряжение 230 В мощностью от 100 до 20 000 Вт, а для ИК-нагрева – КГ, КГТ, КГТО, КГТД на напряжение 120, 230 и 400 В мощностью 400, 600, 1000, 2200, 2500, 3300 и 3550 Вт. В условном обозначении ламп первые две буквы указывают на материал стеклянной колбы (трубки) и наличие галогенной добавки в колбе (КГ – кварцевая с галогенной добавкой), третья и последующие буквы – на область применения (Т – термоизлучатель) и (или) конструктивную особенность изготовления (О – с отогнутыми концами, Д – дифференцированное тело накала, К – концентрированное тело накала, М – малогабаритная и т. д.), а цифры через дефис – номинальное напряжение, Вт, и порядковый номер разработки.

2.2.4. Инфракрасные зеркальные лампы-термоизлучатели

У всех источников теплового излучения основная часть лучистого потока приходится на ИК-излучение, поэтому в качестве ИК-источников в сельскохозяйственном производстве применение получили лампы-термоизлучатели.

Конструкция ламп-термоизлучателей аналогична конструкции осветительных ламп накаливания общего назначения (рис. 2.6). Источником излучения в таких лампах является биспираль из вольфрамовой проволоки, нагреваемая в рабочем режиме до температуры 2000...2600 К. Отличительной особенностью конструкции является только форма колбы, определяющая направление и равномерность распределения потока излучения, и возможная окраска нижней части колбы красным или синим термостойким лаком для уменьшения интенсивности видимого излучения.

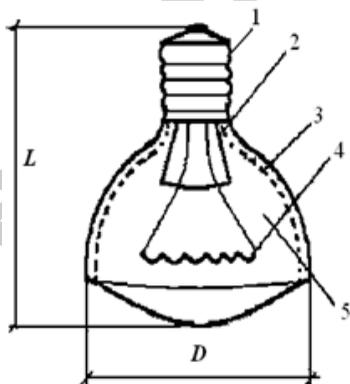


Рис. 2.6. Устройство инфракрасных зеркальных ламп-термоизлучателей:
1 – цоколь; 2 – тепловой экран;
3 – зеркальный слой;
4 – вольфрамовая спираль;
5 – смесь инертного газа (аргон и азот)

Промышленность выпускает ИК-лампы-термоизлучатели типов ИКЗ, ИКЗК и ИКЗС, мощностью 250 и 500 Вт, на номинальное напряжение 230 В (приложение 3). В обозначении типа ламп буквы означают: ИК – инфракрасная, З – зеркальная, К или С – цвет окрашенной колбы (красная или синяя). После букв следуют цифры, указывающие номинальные значения напряжения (В), мощности (Вт) и отличительные особенности конструкции.

Важным преимуществом ламп-термоизлучателей является их быстродействие. В отличие от других источников требуемый температурный режим в зоне ИК-нагрева создается практически сразу после включения ламп в сеть, так как вольфрамовая спираль нагревается до рабочей температуры в течение долей секунды. Лампы-термоизлучатели имеют сравнительно большой срок службы и создают высокую плотность ИК-потока. Однако создаваемая ими ИК-облученность неравномерна. Некоторая часть потока оптического излучения ламп-термоизлучателей приходится на видимую область спектра, что затрудняет их применение в помещениях, к световому режиму которых предъявляются особые требования. В таких помещениях целесообразнее применять низкотемпературные ИК-излучатели: трубчатые электронагреватели (ТЭНы), керамические и пленочные электрические, а также газовые ИК-излучатели.

2.3. Газоразрядные источники оптического излучения

Газоразрядным называют источник, в котором оптическое излучение возникает в результате возбуждения электронов атомов при электрическом разряде в газах, парах металлов или их смесях. Среди них наиболее широкое распространение получили источники, в которых электрический разряд осуществляется в парах ртути. В зависимости от рабочего давления газовой среды в колбе все они подразделяются на источники: низкого (до 0,01 МПа), высокого (0,01...1 МПа) и сверхвысокого (>1 МПа) давления.

2.3.1. Основные положения теории электрического разряда в газах и парах металлов

Процесс прохождения электрического тока в газовой среде или парах металла называют электрическим разрядом. Характер и механизм электрического разряда в основном определяется

давлением и свойствами среды, приложенным к электродам напряжением и плотностью тока разряда.

Если герметически запааянную стеклянную трубку, внутри которой по торцам размещены электроды, заполнить газом и к электродам подвести напряжение, то при некоторой напряженности электрического поля в ее среде появляется электрический разряд, при котором начинают направленно перемещаться заряженные частицы, в частности, наиболее подвижные из них – электроны, с поверхности катода в газ (пары металла или их смесь) и далее к аноду.

Выход электрона с поверхности твердого проводника катода требует затрат энергии на преодоление потенциального барьера, существующего на границе между электродом и газом, значение которой зависит от материала поверхности катода, его температуры и свойств газа.

Электроны, перемещаясь под действием электрического поля в газовой среде, соударяются с нейтральными атомами и молекулами. Если их кинетическая энергия достаточно высокая, то при соударении они могут ионизировать атом или молекулу, тем самым образуя дополнительные носители электричества. При небольшой кинетической энергии соударение электронов с атомами или молекулами не ионизирует последние, а приводит к переводу их электронов на новые энергетические уровни. Электроны, возвращаясь в исходное состояние, испускают фотоны оптического излучения. Незначительной кинетической энергии электронов недостаточно даже для возбуждения атома или молекулы, и их соударение приводит только к увеличению температуры газа. К тому же электроны, попадая на анод, часть своей кинетической энергии расходуют на его нагрев. При электрическом разряде наблюдаются все три приведенных случая поведения электронов, а газовая среда при снятии электрического поля через некоторое время восстанавливает свои свойства.

В зависимости от плотности разрядного тока различают три основные формы электрического разряда: тихий ($<10^{-2} \text{ A} \cdot \text{м}^{-2}$); тлеющий ($1 \dots 10^2 \text{ A} \cdot \text{м}^{-2}$); и дуговой ($>10^2 \text{ A} \cdot \text{м}^{-2}$).

Рабочим режимом газоразрядных источников является дуговой разряд, который характеризуется падающей ветвью вольт-амперной характеристики (ВАХ). Падающая ВАХ дугового разряда делает

его неустойчивым, так как если ток не ограничивать, то из-за большого его значения источник разрушается в основном из-за разрушения его электродов. Для ограничения тока газоразрядный источник подключают к электрической цепи последовательно с балластным сопротивлением – активным, индуктивным или емкостным.

При подключении газоразрядного источника к сети постоянного тока через активное балластное сопротивление (рис. 2.7) дуговой разряд будет протекать устойчиво при выполнении условия:

$$U_c = U_{\text{л}} + I_{\text{л}}R_{\text{б}}, \quad (2.7)$$

где U_c – напряжение питающей сети, В; $U_{\text{л}}$ – напряжение на лампе в рабочем режиме, В; $I_{\text{л}}$ – разрядный ток, А; $R_{\text{б}}$ – активное сопротивление стабилизирующего балласта, Ом.

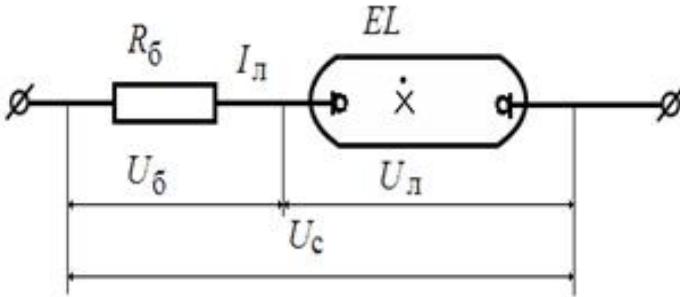


Рис. 2.7. Схема включения газоразрядной лампы в сеть последовательно с активным балластным сопротивлением

Дифференцируя равенство (2.7) по $I_{\text{л}}$ и приняв, что напряжение питающей сети не изменяется при изменении разрядного тока $dU_c / dI_{\text{л}} = 0$, получим условие стабилизации дугового разряда:

$$R_{\text{б}} + dU_{\text{л}} / dI_{\text{л}} = 0, \quad (2.8)$$

где $dU_{\text{л}} / dI_{\text{л}} = R_{\text{л}} \equiv -\text{tg} \beta$ – омическое сопротивление источника в рабочем режиме, которое называют дифференциальным сопротивлением разряда (величина отрицательная);

β – угол между касательной к ВАХ дугового разряда в точке его стабилизации и осью абсцисс (рис. 2.8).

Графическая иллюстрация условия стабилизации дугового разряда представлена на рис. 2.8, где изображены: ВАХ дугового разряда (кривая 1); опорная прямая, определяющая напряжение питающей сети U_c ; линия $U_c - I_{\text{л}}R_{\text{б}}$ (прямая 2), проведенная из точки пересечения линии U_c с осью ординат и характеризующая ВАХ балластного сопротивления. Вертикальные отрезки, в частности, $I_{\text{л}}R_{\text{б}}$ и $U_{\text{л}}$, а также им параллельные, в некотором масштабе определяют падение напряжений на балластном сопротивлении и на лампе в рабочем режиме.

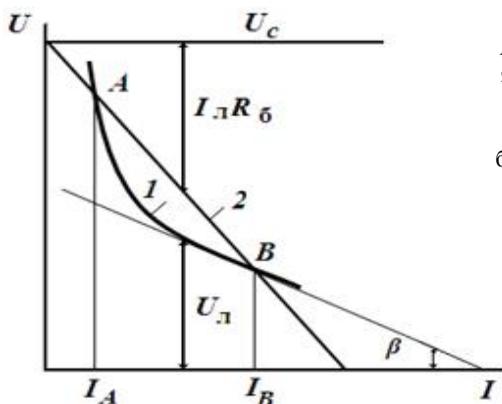


Рис. 2.8. ВАХ стабилизации электрического разряда при включении источника последовательно с балластным сопротивлением

Условие стабилизации дугового разряда (2.8) соблюдается при пересечении прямой 2 и кривой 1, то есть в точках А и В. Однако режим в точке А нельзя отнести к стабильному, так как даже незначительное отклонение тока, например, при повышении U_c , приводит к лавинообразному развитию электрического разряда до режима, показанного на рисунке точкой В ($U_c > U_{\text{л}} + I_{\text{л}} R_{\text{б}}$). Дальнейшее увеличение разрядного тока при данных условиях невозможно, так как имеем $U_{\text{л}} + I_{\text{л}}R_{\text{б}} > U_c$ и $R_{\text{б}} + dU_{\text{л}} / dI_{\text{л}} > 0$.

Последовательное включение с лампой балластного сопротивления неизбежно приводит к дополнительным потерям электрической энергии. В связи с этим представляет интерес определение наименьшей величины балластного сопротивления и падения напряжения на нем для обеспечения стабильного дугового разряда при заданном значении разрядного тока. Методология графического определения этих величин показана рис. 2.9.

В точке, соответствующей заданному значению разрядного тока I_2 (точка О на ВАХ дугового разряда), проводится касательная до пересечения с осью ординат. Тогда прямая U_2 определяет наименьшее значение напряжения питающей сети, обеспечивающее устойчивый электрический разряд, а $\text{tg} \alpha$ – наименьшее значение балластного сопротивления R_6 .

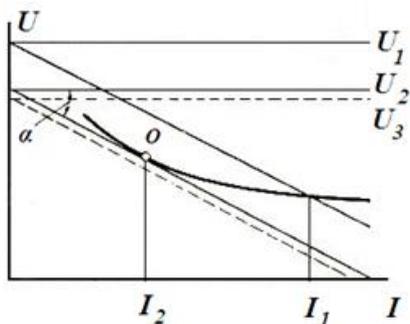


Рис. 2.9. К определению минимального значения балластного сопротивления при заданном разрядном токе

Однако работа газоразрядного источника в режиме точки O в этом случае будет неустойчивой, так как даже незначительное понижение напряжения приведет (при неизменном балластном сопротивлении) к прекращению дугового разряда (при напряжении U_3 ВАХ дугового разряда и прямая, характеризующая ВАХ балластного сопротивления, не пересекаются: $U_c < U_{л} + I_{л}R_6$). С другой стороны, повышение напряжения питающей сети, например, до U_1 , приведет к скачкообразному возрастанию разрядного тока от I_2 до I_1 .

Газоразрядный источник способен работать при различных отношениях значений напряжений на зажимах лампы в рабочем режиме $U_{л}$ и питающей сети U_c , но устойчивость его работы в значительной мере определяется этим отношением. Чем меньше $U_{л}/U_c$, тем меньше влияют колебания напряжения питающей сети на изменение разрядного тока $I_{л}$, а следовательно, и других параметров, и наоборот, чем больше $U_{л}/U_c$, тем отмеченное влияние сказывается сильнее. На практике для обеспечения достаточной надежности работы газоразрядного источника и постоянства его параметров в условиях колебания и отклонения напряжения питающей сети балластное сопротивление подбирают таким образом, чтобы выполнялось условие $U_{л} \approx \leq 0,65 U_c$.

Работа газоразрядных источников в сети переменного тока несколько отличается от работы в сети постоянного тока и вносит свои дополнительные требования к выбору балластного сопротивления. Во время работы в сети переменного тока процессы появления и прекращения электрического разряда возобновляются каждый полупериод синусоидального изменения напряжения, при этом параметры источника (напряжение на его электродах, ток и поток излучения) постоянно изменяются. При подключении газоразрядных источников к сети переменного тока в качестве балластного сопротивления может быть использовано как активное, так и индуктивное или емкостное сопротивления. Тип балластного сопротивления оказывает определенное влияние на работу источника, особенности которого рассмотрим при анализе изменения значений напряжения, тока и светового потока за период синусоидального изменения напряжения (рис. 2.10).

При работе газоразрядного источника с активным балластным сопротивлением напряжение на его электродах синхронно следует за напряжением питающей сети (рис. 2.10, а). Когда напряжение на электродах источника достигает значения напряжения перезажигания²⁵ $U_{пз}$, происходит пробой газового промежутка, в нем начинается электрический разряд, в цепи появляется ток i и лампа генерирует поток излучения Φ . При снижении напряжения на электродах

²⁵ Следует различать понятия «напряжение перезажигания» $U_{пз}$ и «напряжение зажигания» $U_з$ электрического разряда.

Напряжение перезажигания $U_{пз}$ – значение напряжения на электродах, при котором происходит повторный пробой его газового промежутка. Конструктивные параметры источника подбираются таким образом, чтобы значение $U_{пз}$ было меньше значения амплитуды изменения напряжения питающей сети.

Напряжение зажигания $U_з$ – наименьшее значение напряжения, при котором возникает первичный пробой газоразрядного промежутка и его самостоятельный разряд. Значение $U_з$, как правило, значительно больше значения амплитуды изменения напряжения питающей сети. Для первичного пробоя газоразрядного промежутка в схемах включения источника предусматривают специальные решения, направленные на предварительное насыщение газоразрядного промежутка ионизированными электрическими частицами и генерирование повышенного импульса напряжения, превышающего по значению амплитуду изменения напряжения питающей сети. Предварительное насыщение газоразрядного промежутка ионизированными электрическими частицами осуществляется за счет покрытия электродов источника оксидированным слоем и их предварительного подогрева, вследствие чего повышаются их эмиссионные свойства.

источника до значения, меньше допустимого режимом стабилизации, электрический разряд прекращается. Ток и поток излучения, следуя режиму стабилизации газового разряда, изменяются в течение не полного полупериода синусоидального изменения напряжения питающей сети. Появляются темновые паузы – в начале ϕ_n и в конце ϕ_k электрического разряда, определяющие пульсацию потока излучения, значение которой оценивается коэффициентом пульсации.

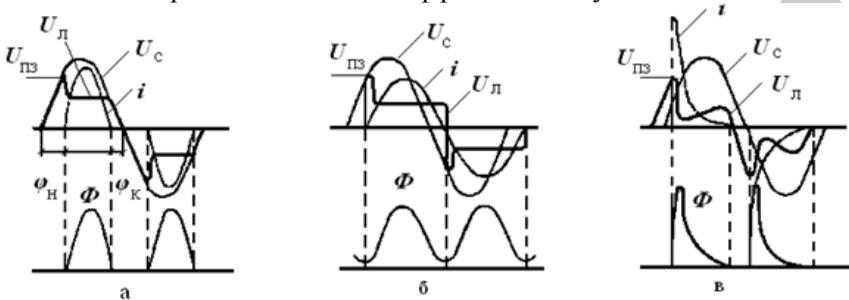


Рис. 2.10. Осциллограммы изменения питающего напряжения U_c , напряжения на электродах лампы U_l , тока i и потока излучения Φ газоразрядного источника при различных балластных сопротивлениях: а – активном; б – индуктивном; в – емкостном

Стабилизация электрического разряда с использованием активного балластного сопротивления реализуется относительно просто без больших финансовых затрат, но не лишена некоторых недостатков, ограничивающих ее применение. Во-первых, из-за наличия относительно продолжительных темновых пауз и заметной пульсации потока излучения. Во-вторых, режимы постоянного перезажигания электрического разряда способствуют снижению эмиссионных свойств оксидного слоя электродов источника и сокращению их эксплуатационных свойств и срока службы. В-третьих, повышенный расход электрической энергии в балластном сопротивлении, снижающий энергетические показатели работы схемы включения источника в сеть.

Использование индуктивного балластного сопротивления для стабилизации электрического разряда более перспективно. Так как при индуктивной нагрузке ток отстает от напряжения, то когда его значение в цепи включения источника приближается к нулю, напряжение на электродах источника сопоставимо с напряжением

перезажигания, электрический разряд практически не прекращается и его перезажигание происходит без заметных темновых пауз (рис. 2.10, б). Отсутствие темновых пауз существенно уменьшает пульсацию потока излучения. Форма кривой тока приближается к синусоидальной.

При индуктивном сопротивлении потери мощности в балластном сопротивлении значительно ниже, чем при активном балласте, и составляют 15...25 % мощности источника излучения. Используя явление генерирования электродвижущей силы (ЭДС) самоиндукции при индуктивном балластном сопротивлении, несложно организовать импульс повышенного напряжения для первичного пробоя газоразрядного промежутка. В то же время индуктивное балластное сопротивление не лишено и недостатков, среди которых: большой расход металла на его изготовление, в том числе и цветного (меди), что существенно удорожает изделие; сдвиг фаз между током и напряжением приводит к появлению реактивной мощности и, как следствие, снижению коэффициента мощности сети.

Емкостное балластное сопротивление для стабилизации электрического разряда газоразрядных источников применяется относительно редко, причиной чему является чрезмерное искажение формы тока и светового потока источника (рис. 2.10, в). Большие паузы и всплески тока приводят к снижению срока службы электродов источника, уменьшению светового потока и световой отдаче, росту коэффициента пульсации потока излучения. Однако применение балластного сопротивления в виде комбинации индуктивности и емкости (индуктивно-емкостного) является весьма перспективным, особенно при работе в сети переменного тока повышенной частоты.

При повышении частоты питающей сети до значения 1 и более кГц напряжение на электродах и ток в схеме включения источника при любом балластном сопротивлении приближаются по форме к синусоиду. Увеличиваются световая отдача и срок службы источника. Снижаются коэффициент пульсации, потери электрической мощности в балластном сопротивлении, материалоемкость балластного сопротивления. Исчезает шум от работы балластного сопротивления и появляется возможность регулирования потока излучения источника.

2.3.2. Газоразрядные лампы низкого давления

В результате электрического разряда в среде паров ртути, заполняющих газоразрядную лампу низкого давления, возникает УФ-излучение (преимущественно длиной волны 253,7 и 184,9 нм), которое в слое люминофора в результате явления фотолюминесценции²⁶ преобразуется в излучение видимой части спектра. Источники, излучающие видимое излучение в процессе электрического разряда и люминесценции, называют люминесцентными лампами.

Люминесцентная лампа общего назначения представляет собой запаянную по торцам стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором (рис. 2.11). Внутри торцов трубки в стеклянных ножках вварены электроды с биспиральной нитью из вольфрама, которая покрыта оксидным слоем, снижающим работу выхода электронов. Электроды присоединены к контактным штырькам, закрепленным в цоколе, и изолированы от него специальной мастикой. Для снижения износа вольфрамовая нить защищена проволочными экранами.

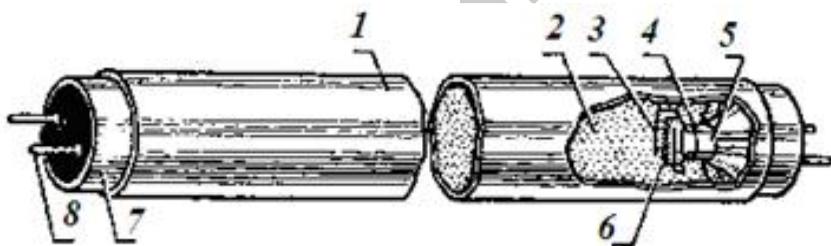


Рис. 2.11. Устройство люминесцентной лампы общего назначения:

1 – стеклянная трубка; 2 – слой люминофора; 3 – проволочные экраны;

4 – токоподводящие электроды; 5 – стеклянная ножка;

6 – покрытая оксидированным слоем биспиральная вольфрамовая нить накала;

7 – цоколь; 8 – контактные ножки-штырьки

Полость колбы заполнена аргоном при давлении 400 Па и небольшим количеством ртути (60...120 мг), которая в рабочем режиме испаряется. Пары ртути, легко ионизируясь, обеспечивают электрический разряд и генерирование УФ-излучения при работе

²⁶ Фотолюминесценция – излучение люминофора в результате поглощения фотонов оптического излучения меньшей длины волны.

лампы. Состав люминофора определяет спектральный состав и цветность излучения.

Люминесцентные лампы различают по форме и размерам колбы, мощности и спектральному составу или цветности излучения. Их условное обозначение может быть представлено в виде:

1	2	3	4	5	-	6
---	---	---	---	---	---	---

где 1 – буква Л (люминесцентная);

2 – от одной до четырех букв, указывающих на цвет или особенности спектра излучения: Б (белая), Д (дневная), Е (естественная), ТБ (тепло-белая), ХБ (холодно-белая), УФ-(ультрафиолетовая), Ф (фотосинтетическая), Ц (с улучшенной цветопередачей) и др.;

3 – буква, указывающая на конструктивные особенности изготовления: Р (рефлекторная), Щ (щелевая), У (У-образная), К (кольцевая) и др.;

4 – буква О (одноцокольная) у ламп с одним цоколем;

5 – число, означающее номинальную мощность лампы, Вт;

6 – число, указывающее на отличительные особенности лампы в сравнении с базовой моделью.

Приведем некоторые пояснения к буквенному обозначению люминесцентных ламп:

– Цвет и особенности спектра излучения люминесцентных ламп характеризуются цветовой температурой и индексом цветопередачи, которые в зависимости от типа равны для: ЛД – 6400 К (цветовая температура) и 70 (индекс цветопередачи), ЛДЦ – 65 000 и 90, ЛБ – 3500 К и 57, ЛТБ – 3000 и 65, ЛТБЦ – 2800 и 83, ЛХБ – 4000 и 62, ЛЕ, ЛЕЦ – 4000 и 85, ЛХЕ, ЛХЕЦ – 5200 и 93.

– Люминесцентная лампа типа ЛДЦУФ предназначена для одновременного освещения и УФ-облучения, так как ее спектр содержит видимое и УФ-В-излучения.

– Особенностью конструкции рефлекторных (Р) и щелевых (Щ) ламп является наличие отражающего слоя (рефлектора), расположенного внутри стеклянной трубки между самой трубкой и люминофором. Отражающий слой наносится не на всю внутреннюю поверхность трубки, а на ее часть. Световой поток излучается лампой только через образованную щель (часть внутренней

поверхности трубки без отражающего слоя), что позволяет перераспределять его в заданном направлении. У щелевых ламп часть внутренней поверхности трубки без отражающего слоя не покрываются люминофором. Через образованную щель они излучают наряду с видимым и УФ-излучение.

– U-образные и кольцевые люминесцентные лампы конструктивно отличаются от обычных (прямолинейных) только формой газоразрядной трубки, изогнутой в U-образных лампах в виде латинской буквы «U» или в виде кольца – у кольцевых.

Люминесцентные лампы общего назначения маркировки T12²⁷ изготавливают мощностью от 15 до 150 Вт. Они с использованием соответствующей пускорегулирующей аппаратуры подключаются к электрической сети переменного тока частотой 50 Гц и номинальным напряжением 230 В.

Средний срок службы ламп – 12...15 тыс. часов, световая отдача – 25...80 лм · Вт⁻¹ (приложение 4). Номинальный световой поток лампы излучает после 100 часов эксплуатации и к концу срока службы он уменьшается на 25...40 %. Лампы могут работать при температуре окружающей среды от 5 до 55 °С, однако оптимальным условиям эксплуатации соответствует температура 18...25 °С и относительная влажность не более 70 %. При температуре окружающей среды <10 °С и относительной влажности >80 % ухудшаются условия зажигания ламп.

Изменения относительной влажности и температуры окружающей среды, отклонение напряжения питающей сети от номинального значения оказывают заметное влияние на электрические и светотехнические параметры ламп (рис. 2.12). Эксплуатация ламп при повышенном напряжении питающей сети ведет к уменьшению их срока службы. Понижение напряжения также может привести к прекращению электрического разряда и многократному повторению процесса зажигания, что, из-за износа электродов, ведет к уменьшению срока службы.

²⁷ Международная маркировка позволяющая сопоставлять параметры ламп по диаметру трубки и типу цоколя. Так, лампы T12 имеют диаметр трубки 12/8 дюйма (или ≈38 мм), T10 – 10/8 (≈32), T8 – 8/8 (≈26), T5 – 5/8 (≈16), T4 – 4/8 (≈13) соответственно.

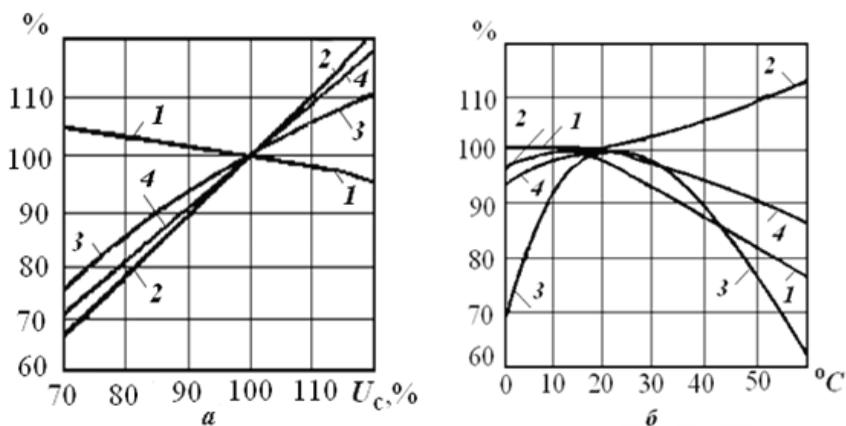


Рис. 2.12. Зависимость напряжения на электродах (1), тока (2), светового потока (3) и световой отдачи (4) лампы от напряжения питающей сети (а) и температуры окружающей сети (б)

Совершенствование люминесцентных ламп направлено на уменьшение их материалоемкости и размеров, улучшение цветности и повышение световой отдачи. Разработаны и в промышленном масштабе изготавливаются люминесцентные лампы с маркировкой Т8 мощностью 15, 18, 36 и 58 Вт со стеклянной трубкой уменьшенного диаметра (26 мм вместо 38 мм маркировки Т12).

Это поколение ламп позволяет экономить до 10 % потребляемой энергии и до 30 % материалов (люминофор, алюминий для изготовления цоколя, стекло) при светотехнических параметрах, сопоставимых с характеристиками ламп маркировки Т12 (приложение 4). Их средний срок службы – 12...15 тыс. часов при световой отдаче до 60...90 лм · Вт⁻¹.

Ведущими мировыми производителями светотехнической продукции освоен выпуск люминесцентных ламп с диаметром газоразрядной трубки 16 (маркировка Т5) и 13 (маркировка Т4)²⁸ мм. Кроме уменьшенного диаметра стеклянной трубки они отличаются пониженным содержанием ртути, меньшей длиной, повышенной световой отдачей (до 82...104 лм · Вт⁻¹) и сроком службы

²⁸ Следует отметить, что лампы маркировки Т4 на сегодняшний день не нашли широкого распространения в системах общего равномерного освещения помещений.

(до 20 тыс. часов), расширенным диапазоном мощности, например, 4, 6, 8, 13, 14, 21, 24, 28, 35, 39, 49, 54 и 80 Вт (маркировка T5) и 6, 8, 12, 16, 20, 24 и 30 Вт (маркировка T4), относительно высоким индексом цветопередачи ($R_a = 80 \dots 90$ при $T_C = 4200$ и 6400 К).

Лампы маркировки T4 и T5 излучают максимальный световой поток при более высоких температурах воздуха окружающего колбу (35°C вместо 25°C для ламп серии T8), что имеет место в зоне расположения лампы при реальных условиях эксплуатации. К концу срока эксплуатации их световой поток уменьшается всего на 10 % (вместо 30 % у ламп маркировки T8). Некоторые технические параметры ламп серии T4 и T5 представлены в приложении 5.

Большой интерес представляют компактные люминесцентные лампы (КЛЛ), служащие для непосредственной замены малоэффективных ламп накаливания (рис. 2.13). Такая лампа представляет собой компактную конструкцию, включающую миниатюрную стеклянную газоразрядную трубку сложной конфигурации (изогнутую в виде спирали или U-образную), встроенную малогабаритную пускорегулирующую аппаратуру и, в некоторых случаях, внешнюю оболочку разнообразной формы. Лампы снабжены стандартным резьбовым цоколем типа E14 или E27 и включаются в сеть по тому же принципу, что и лампы накаливания.



Рис. 2.13. Общий вид компактных одноцокольных люминесцентных ламп

Выпускают компактные люминесцентные лампы мощностью – $3 \dots 120$ Вт, со световой отдачей – $30 \dots 75$ лм \cdot Вт $^{-1}$, сроком службы – $8 \dots 12$ тыс. часов и различной цветовой гаммой излучаемого света – так называемым «теплым» (цветовая температура 2700 К),

«холодным» (4000...4200 К) либо дневным (6400 и более К) светом при индексе цветопередачи до $R_a \approx 80$.

К сожалению, такие лампы до сих пор не имеют единого обозначения, так как их изготавливают, как правило, по лицензионным соглашениям с различными разработчиками зарубежных стран.

В качестве примера приведем некоторые параметры одной из представительниц КЛЛ – лампы NCLP-SF-15-827-E27: напряжение питания – 230 В; мощность – 15 Вт; световой поток – 780 лм; габаритные размеры – 42 (диаметр) и 103 (длина) мм, срок службы – 8000 часов, цоколь – E14.

Сравнивая КЛЛ с лампами накаливания общего назначения, замечаем, что по световому потоку лампа NCLP-SF-15-827-E27 соответствует лампам мощностью 60 Вт (их световой поток – 700...800 лм), однако потребляет \approx в 4 раза меньше электроэнергии и имеет в восемь раз больший срок службы.

Некоторые технические параметры КЛЛ приведены в приложении 6.

2.3.3. Включение в сеть газоразрядных ламп низкого давления

Газоразрядные лампы низкого давления подключают к электрической сети с помощью специальных электротехнических изделий и схем их соединения, обеспечивающих зажигание, разгорание и стабилизацию режима электрического разряда, подавление радиопомех, возникающих при работе, повышение коэффициента мощности и снижение пульсации светового потока. Совокупность всех элементов, выполняющих вышеуказанные функции и конструктивно оформленных в виде единого устройства или нескольких отдельных блоков, называется *пускорегулирующим аппаратом* (ПРА). В зависимости от режима зажигания ПРА для включения люминесцентных ламп подразделяют на: импульсного зажигания с предварительным подогревом электродов; горячего зажигания с постоянным подогревом электродов; мгновенного зажигания при холодных электродах лампы.

Основными элементами классической схемы импульсного зажигания с предварительным подогревом электродов являются люминесцентная лампа, дроссель в качестве балластного сопротивления и стартер (рис. 2.14).

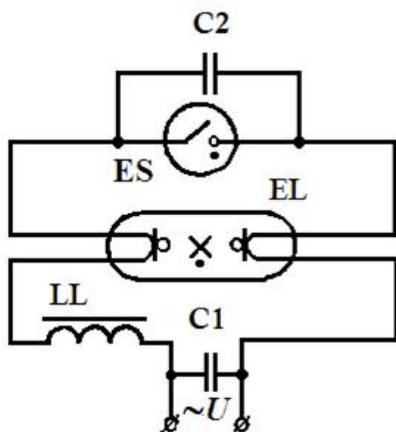


Рис. 2.14. Схема включения люминесцентной лампы с использованием стартера тлеющего разряда:
 LL – дроссель;
 EL – люминесцентная лампа;
 C1 и C2 – конденсаторы;
 ES – стартер

Стартер тлеющего разряда (рис. 2.15) представляет собой миниатюрную газоразрядную лампу 3 с биметаллическими (одним или двумя) электродами 1 и 2, заполненную смесью 60 % аргона, 28,8 % неона и 11,2 % гелия. Стекло колбы лампы стартера помещена в металлический корпус цилиндрической формы 6. При соединении стартера к схеме осуществляется контактными электродами 7.

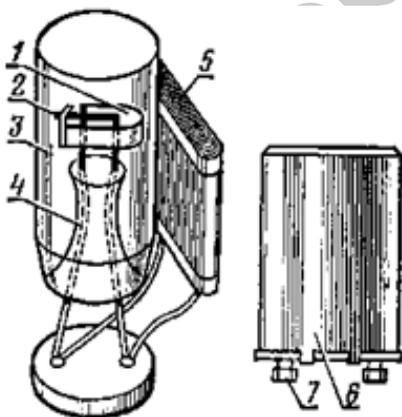


Рис. 2.15. Устройство стартера тлеющего разряда:
 1, 2 – биметаллические электроды;
 3 – газоразрядная лампа;
 4 – токоподводы;
 5 – конденсатор;
 6 – металлический корпус;
 7 – контактные электроды

Напряжение зажигания разряда в миниатюрной лампе стартера составляет не менее 130 В для стартера 80С-220 и 140 В для стартера 65С-220. Стартер рассчитан на зажигание люминесцентной лампы не менее 6...10 тыс. раз, что и определяет срок его службы.

Обозначение стартера включает: С – стартер; 80 – предельное значение мощности люминесцентных ламп (65 – мощность лампы), для которых предназначен стартер, Вт; 220 – номинальное напряжение сети, В. Например, 80С-220 – стартер для люминесцентных ламп мощностью до 80 Вт включительно (исключая 65), то есть 20, 30, 36, 58 и 80 Вт.

При подаче напряжения на схему включения лампы ток не проходит через ее газоразрядный промежуток, так как он в достаточной степени не ионизирован. В таком состоянии для его пробоя необходимо напряжение, превышающее в несколько раз значение напряжения сети.

В стартере в тоже время возникает тлеющий электрический разряд, сопровождающийся протеканием тока (20...50 мкА) в электрической цепи, образованной дросселем, нитями накала электродов люминесцентной лампы и самим стартером. Под действием тлеющего электрического разряда биметаллические электроды стартера разогреваются, изгибаются, накоротко соединяются друг с другом и замыкают цепь накала электродов люминесцентной лампы через дроссель на напряжение сети. Проходящий при этом ток, равный 0,9...2,0 номинального тока лампы, обеспечивает нагрев ее электродов. Тлеющий разряд в стартере прекращается, так как разность потенциалов на его электродах равна нулю.

За 1...2 с электроды люминесцентной лампы разогреваются до 700...900 °С, вследствие чего увеличивается электронная эмиссия, ионизируется газовый промежуток и облегчаются условия его пробоя. После прекращения тлеющего разряда в стартере его электроды охлаждаются и, возвращаясь в исходное положение, разрывают цепи накала электродов люминесцентной лампы.

В момент разрыва цепи в дросселе возникает электродвижущая сила самоиндукции (ЭДС). Образовавшийся импульс повышенного напряжения (700...1000 В) прикладывается к электродам люминесцентной лампы, что приводит к пробоя ее газоразрядного промежутка и зажиганию. После зажигания люминесцентной лампы напряжение на стартере, включенном параллельно электродам лампы, приблизительно равно половине напряжения сети, и его недостаточно для возникновения тлеющего разряда. Стартер отключается, однако если люминесцентная лампа по какой-либо причине не зажглась, то весь процесс зажигания повторяется.

В схеме конденсаторы С1 и С2 предназначены соответственно для повышения коэффициента мощности и уменьшения радиопомех.

Для двух люминесцентных ламп, размещенных в одном светильнике, их ПРА включают по схеме с так называемой «расщепленной фазой». При этом ПРА первой лампы подключают непосредственно к питающей сети, а второй – через последовательно конденсатор, обеспечивающий угол сдвига токов ламп, примерно равный 90° . В результате сдвига токов ламп их световые потоки сдвинуты по времени один относительно другого, что приводит к уменьшению пульсации суммарного светового потока. При этом полученная объединенная схема включения двух люминесцентных ламп отличается высоким коэффициентом мощности и не требует применения специального компенсационного конденсатора.

В рассмотренной схеме включения лампы ненадежным элементом является стартер тлеющего разряда с его подвижными биметаллическими электродами. Надежность повышается при использовании различного рода полупроводниковых стартеров, без стартерных ПРА с постоянным подогревом электродов или мгновенного зажигания при холодных электродах лампы.

Бесстартерная схема горячего зажигания люминесцентной лампы с постоянным подогревом электродов в дополнение к дросселю включает накальный трансформатор. При этом зажигание люминесцентной лампы обеспечивается предварительным подогревом электродов, уменьшающим напряжение зажигания до значения сетевого, и наличием проводящей полосы или покрытия на стеклянной трубке, предусмотренной конструкцией для ламп быстрого пуска.

ПРА мгновенного зажигания при холодных электродах лампы содержат индуктивные и емкостные элементы, образующие в режиме холостого хода последовательный резонансный контур. За счет резонанса напряжений в таком контуре обеспечивается надежное зажигание люминесцентной лампы, подключенной параллельно одному из этих элементов. Отпадает надобность в каком-либо предварительном подогреве электродов. Напряжение холостого хода такой схемы, прикладываемое к электродам люминесцентной лампы, в режиме резонанса в 2...2,5 раза больше значения номинального напряжения питающей сети.

Недостатками бесстартерных электромагнитных ПРА являются большие размеры и материалоемкость, повышенные потери мощности в ПРА, достигающие 25...35 % мощности лампы. К тому же при использовании бесстартерных схем горячего или холодного зажигания уменьшается срок службы люминесцентной лампы.

В последнее время для стабилизации электрического разряда газоразрядных источников оптического излучения широкое применение получили бесшумные электронные ПРА (ЭПРА), существенно снижающие материалоемкость изделий (на 40...70 %) и потери электрической энергии (в ЭПРА они не превышают 5...10 % мощности источника).

Практическая реализация ЭПРА включает сложные функциональные элементы и базируется на использовании микросхем для управления работой лампы, включая управление предварительным разогревом электродов при первичном зажигании, защиту от аномальных режимов работы или неисправностей, помехоподавление, корректировку коэффициента мощности и др. Использование ЭПРА позволяет организовать управление работой газоразрядной лампы при применении токов высокой частоты (25...133 кГц), что значительно повышает ее эксплуатационные характеристики.

ЭПРА отличаются рядом неоспоримых преимуществ, так как они позволяют обеспечить:

- экономию электроэнергии в сопоставлении с индукционным электромагнитным балластным сопротивлением;
- высокий коэффициент мощности ($\cos\varphi > 0,96...0,98$);
- увеличение срока службы и уменьшение пульсации светового потока ламп;
- отсутствие шума во время работы;
- более широкий диапазон рабочих температур и напряжений питания;
- автоматическое отключение при выходе из строя лампы.

ЭПРА особо эффективны при питании газоразрядной лампы на повышенной частоте переменного тока. В этом случае наблюдается повышение световой отдачи лампы (на 5...7 %), понижение коэффициента пульсации светового потока (до 5...15 %) и повышение срока службы лампы (на 10...50 %). ЭПРА способны обеспечить регулирование светового потока газоразрядной лампы (например, в зависимости от уровня естественной освещенности) и ее подклю-

чение к сети не только переменного тока, но и постоянного (например, напряжением 12 или 24 В).

Электромагнитные ПРА для включения в сеть газоразрядных ламп низкого давления общего назначения имеют следующую структуру обозначения:

1	2	3	4	5	–	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---

где 1 – цифра, указывающая на число подключаемых ламп;

2 – буква, указывающая на сдвиг фаз тока и напряжения (И – индуктивный; Е – емкостной; при токе, опережающем по фазе напряжение сети, К – компенсированный);

3 – цифры, обозначающие мощность одной лампы, Вт;

4 – буква, указывающая на уровень создаваемого ПРА шума (Н – нормальный, П – пониженный, А – особо низкий, С – очень низкий);

5 – двузначное число, обозначающее номер серии;

6 – трехзначное число, обозначающее номер исполнения;

7 – буквы, обозначающие климатическое исполнение;

8 – цифра, обозначающая категорию размещения.

Пример условного обозначения электромагнитного ПРА: 1И 40 П 09 – 051 У4 – одноламповый индукционный ПРА к лампе мощностью 40 Вт, с пониженным уровнем шума, серии разработки 09, исполнения 051, умеренного климатического исполнения для помещений с искусственно регулируемым климатическими условиями.

Отметим, что приведенная структура условного обозначения не распространяется на ЭПРА. На сегодня их обозначение, как правило, определяется фирмой производителем или поставщиками.

2.3.4. Газоразрядные лампы высокого и сверхвысокого давления

Из газоразрядных источников высокого давления, используемых в качестве источников видимого излучения, следует выделить лампы типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ.

Лампы типа ДРЛ (дуговая ртутная люминесцентная) применяют для освещения производственных территорий, строительных

площадок, проезжей части дорог, а также помещений промышленных предприятий, не требующих высокого качества цвето-передачи.

Конструктивно лампа состоит (рис. 2.16) из ртутно-кварцевой горелки высокого давления 7, заключенной во внешнюю заполненную инертным газом стеклянную колбу 8. На внутреннюю поверхность колбы нанесен люминофор 9, преобразующий УФ-излучение горелки в видимый свет. Газоразрядная горелка выполнена из кварцевого стекла в виде цилиндрической трубки, в торцы которой впаяны вольфрамовые электроды 10. Внутри горелки находится аргон и дозированное количество ртути.

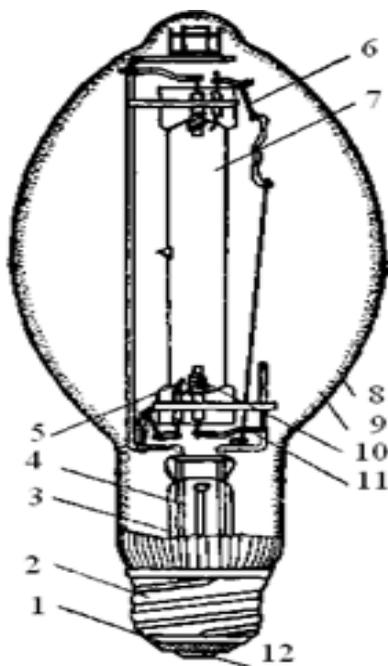


Рис. 2.16. Конструкция четырехэлектродной лампы ДРЛ:

- 1 – электроизоляционная стекломасса;
- 2 – стакан цоколя;
- 3 – стеклянная ножка лампы;
- 4 и 11 – токоподводы;
- 5 – поджигающие электроды;
- 6 – омические сопротивления;
- 7 – газоразрядная трубка;
- 8 – стеклянная колба;
- 9 – люминофор;
- 10 – рабочие электроды;
- 12 – контактная шайба

Газоразрядная трубка лампы содержит до четырех электродов (два основных 10 и один или два поджигающих 5). Поджигающие электроды присоединены через омические сопротивления 6 (или позисторы), которые служат для ограничения тока тлеющего разряда на поджигающих электродах. Расстояние между поджигающими электродами и противофазными основными рабочими

электродами значительно меньше расстояния между основными электродами (рис. 2.17).

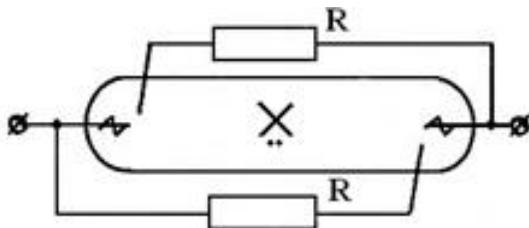


Рис. 2.17. Схема подключения поджигающих электродов в лампах ДРЛ

Период разгорания лампы ДРЛ продолжается 3...7 мин. За это время происходят нагревание горелки и испарение ртути. Давление паров ртути повышается, изменяются электрические (ток, мощность и др.) и светотехнические (световой поток, световая отдача и др.) параметры. Например, после зажигания в лампе электрического разряда начальное напряжение на ней составляет 25...30 В и по мере разгорания повышается до 115...145 В. В момент зажигания ток в 2...2,6 раза превышает номинальный и по мере разогрева горелки и испарения в ней ртути постепенно уменьшается до номинального значения. Мощность и световой поток лампы возрастают до номинальных значений. После разгорания лампы наблюдается устойчивый режим работы и происходит стабилизация ее электрических и светотехнических параметров. Повторно зажечь погасшую лампу можно лишь после того, как она остынет и пары ртути сконденсируются, то есть примерно через 10...15 мин.

Для ламп ДРЛ характерен недостаток красного цвета в спектре излучения, что вызывает искажение цветовых ощущений при освещении. Проблема неудовлетворительной цветопередачи побудила введение для характеристики ламп дополнительного параметра – «красное отношение», %, определяющего отношение светового потока в области спектра красного цвета (610...700 нм) к полному потоку излучения в области видимого излучения (380...780 нм).

Промышленность выпускает восемь типоразмеров ламп ДРЛ мощностью 50, 80, 125, 250, 400, 700, 1000 и 2000 Вт для включения в сеть переменного тока номинальным напряжением 230 и 400 В (приложение 7). Световая отдача ламп – 40...55 лм · Вт⁻¹,

номинальный срок службы – до 20 тыс. часов, «красное отношение» – 6, 10 и 15 %.

Так как горелка лампы ДРЛ помещена в стеклянную колбу, теплоизолирующую ее от окружающей среды, изменение параметров окружающей среды в пределах $-30...+40$ °С незначительно влияет на изменение электрических и светотехнических параметров. Влияние температуры окружающей среды в основном сказывается только на процессе зажигания и разгорания. Однако из-за изменения свойств люминофора и состава среды в горелке, потемнения поверхности горелки световой поток лампы снижается к концу срока службы на 25...30 %. Наблюдается уменьшение и «красного отношения».

На электрические и светотехнические параметры лампы существенное влияние оказывает отклонение напряжения питающей сети от номинального значения. При отклонении напряжения сети в пределе $\pm 10...15$ % изменения светового потока и мощности ламп в установившемся режиме аппроксимируются следующими зависимостями:

$$\Delta\Phi_C / \Phi_C \cong 2,5\Delta U / U_H \text{ и } \Delta P_C / P_H \cong 2,0\Delta U / U_H,$$

где $\Delta\Phi_C$, ΔP , ΔU – отклонения светового потока, мощности и сетевого напряжения от номинальных значений Φ_{CH} , P_H и U_H соответственно.

Существенными недостатками ламп ДРЛ является неудовлетворительная цветопередача ($T_C = 3800$ К, $R_a = 42$), ограничивающая сферу их применения, значительная пульсация светового потока – до 75 % и существенное уменьшение светового потока к концу службы.

Обозначение ламп, например, ДРЛ 250(10)-1, включает:

- буквы ДРЛ, означающие соответственно дуговая, ртутная, люминесцентная;
- цифры, указывающие мощность лампы, Вт;
- цифры в скобках, определяющие красное отношение, %;
- цифра через дефис, указывающая номер разработки, имеющей конструктивные отличия от базовой модели.

Металлогалогенные лампы типа ДРИ (дуговая ртутная с излучающими добавками) – группа источников видимого излучения,

в значительной степени определяющая общий прогресс развития газоразрядных источников высокого давления. Принципиально они отличаются от ламп ДРЛ добавками галоидных соединений²⁹ различных металлов (натрия, таллия, индия и др.) к аргону и ртути газовой горелки и, как правило, отсутствием люминофорного покрытия на внутренней поверхности внешней колбы.

Устройство лампы ДРИ показано на рис. 2.18. В прозрачной термостойкой колбе расположена газоразрядная кварцевая трубка, с обеих сторон которой впаяны электроды. Колбу изготавливают эллипсоидной (в лампах модификаций 5 и 7) или цилиндрической (модификация 6) формы. С целью перераспределения светового потока на ее внутреннюю поверхность может быть нанесено зеркальное покрытие (лампы типа ДРИЗ). Лампы модификации 5 и 7 предназначены для работы в любом положении, а модификации 6 – горизонтальном или с отклонением от горизонтального на угол до $\pm 60^\circ$.

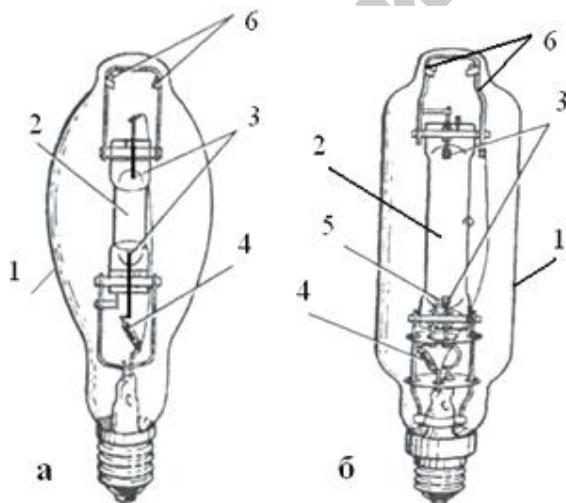


Рис. 2.18. Конструкция металлогалогенных ламп типа ДРИ в эллипсоидальной (а) и цилиндрической (б) колбах:

1 – колба; 2 – разрядная трубка; 3 – электроды; 4 – ограничительное сопротивление;
5 – зажигающий электрод; 6 – пружинящие распорки

²⁹ Как правило, йодных соединений, так как йодиды металлов практически не взаимодействуют с кварцевым стеклом.

Электрический разряд в среде галоидных соединений металлов генерирует видимое излучение, дополняющее УФ-излучение электрического разряда в парах ртути. Например, введение йодида таллия насыщает спектр зеленым цветом, натрия – желтоватым, а индия – голубым и т. д. Варьирование в процессе изготовления составом смеси горелки дает возможность получить цветность излучения лампы, близкую к естественному свету даже без использования (полностью или частично) люминофора на внешней колбе. Однако лампы ДРИ с люминофором на внешней колбе обеспечивают более высококачественную цветопередачу.

Лампы ДРИ изготавливают мощностью 70, 100, 125, 150, 250, 400, 700, 1000, 2000 и 3500 Вт и ДРИЗ – 250, 400, 700 Вт. В зависимости от типоразмера и модификации их световая отдача составляет 66...100 лм · Вт⁻¹, номинальный срок службы – 6...10 тыс. часов, коэффициент пульсации светового потока – 30 %, время разгорания – 2...5 мин. Повторное зажигание ламп после их отключения проводить не ранее 5...10 мин. К концу срока службы световой поток ламп уменьшается на 30...50 % (приложение 7). Исследования последних лет дают основание предполагать, что световая отдача ламп типа ДРИ будет увеличена до 120...140 лм · Вт⁻¹ при одновременном увеличении их номинального срока службы и шкалы типоразмеров мощности.

Лампы характеризуются удовлетворительной цветопередачей ($T_c = 4200$ К, $R_a = 65$). На основании требований к цветопередаче их разделяют на лампы для общего освещения, лампы с улучшенной цветопередачей и лампы специального применения (например, для телевизионных съемок). Их подключают в зависимости от типоразмера к сети напряжением 230 и 400 В. При подключении с помощью некомпенсированных ПРА коэффициент мощности в среднем равен 0,5.

Обозначение ламп, например, ДРИ250–5, включает:

- буквы ДРИ или ДРИЗ, означающие соответственно дуговая (Д), ртутная (Р), с излучающими добавками (И), зеркальная (З);
- цифры, указывающие мощность лампы, Вт;
- цифра через дефис, указывающая номер модификации или разработки.

Условия окружающей среды не оказывают существенного влияния на изменение параметров ламп. Однако их светотехнические и электрические параметры зависят от отклонения напряжения от номинального значения. При изменении напряжения питающей сети в пределах $\pm 10\%$ номинального значения световой поток и мощность ламп изменяются в следующих отношениях:

$$\Delta\Phi_c / \Phi_{cH} \cong 2,5\Delta U / U_H \text{ и } \Delta P_c / P_{cH} \cong 2,2\Delta U / U_H.$$

Лампы типа ДНаТ (дуговая натриевая трубчатая) отличаются среди всех газоразрядных ламп самой большой световой отдачей (до $140\dots 150 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$) и незначительным снижением излучаемого светового потока на протяжении всего срока эксплуатации. Однако в их спектре до 70% излучения сосредоточено в желто-оранжевой области ($560\dots 610 \text{ нм}$), что предопределяет неудовлетворительную цветопередачу их излучения ($T_c = 2000\dots 2100 \text{ К}$, $R_a = 20\dots 25$) и назначение – освещение улиц и территорий, декоративное и архитектурное освещение, так как излучение обеспечивает только хорошее различие положения и формы объектов. Улучшение качества цветопередачи при использовании натриевых ламп может быть достигнуто за счет их совместного применения с ртутными люминесцентными лампами высокого давления.

Тонкостенная трубчатая газоразрядная горелка ламп ДНаТ изготовлена из светопропускающей поликристаллической керамики (окиси алюминия), полость которой заполнена ксеноном с добавками натрия (амальгамы натрия) и ртути (амальгамы ртути). Горелка размещена во внешней колбе из тугоплавкого стекла, которая имеет цилиндрическую или эллиптическую форму и оснащена резьбовым цоколем (рис. 2.19).

Лампы ДНаТ изготавливают мощностью $70, 100, 150, 210, 250, 360, 400, 700$ и 1000 Вт . Их световая отдача – $100\dots 125 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, средняя продолжительность горения – $6\dots 15$ тыс. часов, коэффициент пульсации светового потока – 70% , время разгорания – $5\dots 10$ мин (приложение 7). Повторное зажигание лампы возможно через $2\dots 3$ мин после погасания.

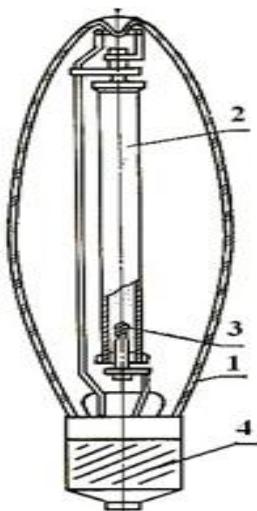


Рис. 2.19. Устройство лампы ДНаТ:

- 1 – колба из термостойкого стекла;
- 2 – керамическая газоразрядная трубка;
- 3 – вольфрамовый электрод;
- 4 – цоколь

Лампы характеризуются хорошей стабильностью светового потока в течение всего срока службы. Уменьшение светового потока – не более 15...20 % за 10 тыс. часов работы. Они малочувствительны к температуре окружающей среды и работоспособны при ее изменении в диапазоне от -60 до $+40$ °С. Однако колебания напряжения электрической сети существенно сказываются на их световых и электрических параметрах (рис. 2.20).

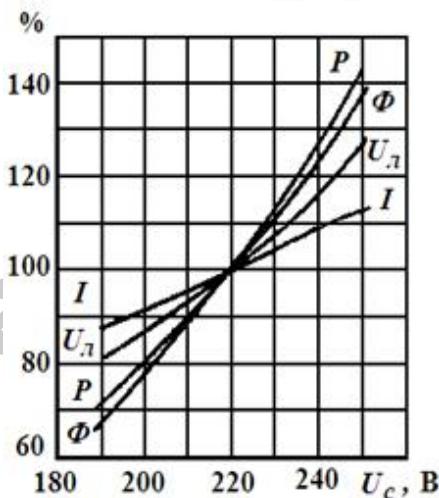


Рис. 2.20. Зависимости мощности P , светового потока Φ , напряжения на лампе $U_{л}$ и тока I натриевой лампы высокого давления типа ДНаТ от изменения напряжения питающей сети U_c

При эксплуатации ламп типа ДНаТ требуется соблюдать рекомендуемое (указывается на колбе) положение установки ламп: цоколем вверх или вниз с допустимым нормированным отклонением угла от вертикального положения.

Обозначение ламп, например ДНаТ250–5, включает:

- буквы ДНаТ, означающие соответственно дуговая, натриевая, трубчатая;

- цифры, указывающие мощность лампы, Вт;

- цифра через дефис, указывающая номер разработки.

Дуговые ксеноновые лампы (ДКсТ, ДКсШ, ДКсТВ) относятся к классу газоразрядных ламп сверхвысокого давления и отличаются сплошным спектром излучения в диапазоне 200...2000 нм. Видимое излучение ламп по спектральному составу приближается к естественному солнечному излучению ($T_c = 6000$ К) и отличается хорошей цветопередачей ($R_a = 98$).

Ксеноновые лампы могут быть трубчатыми или шаровыми с естественным или принудительным водяным (воздушным) охлаждением. Конструкция лампы с естественным охлаждением представляет собой заполненную ксеноном газоразрядную горелку, выполненную из кварцевого стекла диаметром 22...42 мм и длиной 640...2610 мм. По концам газоразрядной горелки впаяны вольфрамовые активированные электроды. В лампах с водяным охлаждением газоразрядная горелка размещена в стеклянном цилиндре, оснащенном специальными фланцами и патрубками для подвода воды. Лампы с водяным охлаждением из-за лучшего отвода теплоты при одинаковой единичной мощности имеют меньшие габариты.

Электрический разряд в ксеноновых лампах возникает при высоком напряжении зажигания (до 50 кВ), происходит в среде инертного газа ксенона при больших плотностях тока ($10^5 \dots 10^6$ А · м⁻²) и отличается возрастающей вольт-амперной характеристикой, что позволяет его стабилизировать с помощью небольших балластных сопротивлений или же вообще обойтись без них. Лампа выходит на рабочий режим практически мгновенно (время разгорания – менее 1 с), так как плотность ксенона остается практически постоянной при изменении теплового режима.

Условное обозначение типов ксеноновых ламп расшифровывается следующим образом: Д – дуговая, Кс – ксеноновая,

Т – трубчатая, Ш – шаровая, РБ – разборная, М – металлическая, Л – из кварцевого стекла с легирующими присадками и В – с водяным охлаждением. Цифры после букв обозначают мощность в ваттах и через дефис – порядковый номер разработки.

Из довольно большого разнообразия ксеноновых ламп для целей освещения в основном применяются дуговые ксеноновые трубчатые лампы с воздушным и водяным охлаждением, соответственно, типов ДКсТ и ДКсТВ.

Лампы ДКсТ и ДКсТВ изготавливают номинальной мощностью от 2 до 100 кВт. Их световая отдача составляет $18...45 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$.

Средняя продолжительность горения составляет от 100 до 1300 часов, но при стабилизации напряжения, обеспечивающей отклонение от номинального значения $\pm 2 \%$, может достигать 3000 часов. Коэффициент пульсации светового потока достигает 130 %. Напряжение питания ламп – 230 В (мощностью до 10 кВт) и 400 В.

Основная область применения ламп типа ДКсТ (ДКсТВ) – освещение больших открытых пространств и архитектурных сооружений.

2.3.5. Схемы включения в сеть газоразрядных ламп высокого давления

Включение газоразрядных ламп высокого давления типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ в сеть переменного тока, как и большинство газоразрядных источников оптического излучения, возможно только путем последовательного соединения с ним специального ПРА. В зависимости от типа и конструктивных модификаций ламп различают и схемы их включения в сеть.

Зажигание электрического разряда в кварцевой горелке двухэлектродных ламп, например, ДРИ и ДНаТ, не может быть осуществлено рабочим напряжением сети, так как напряжение их зажигания значительно выше сетевого. Для первоначального пробоя газового промежутка к электродам лампы должен быть приложен кратковременный импульс напряжения в несколько киловольт. Его можно получить только при помощи схемы включения лампы, содержащей специальное поджигающее устройство.

В четырехэлектродных лампах ДРЛ зажиганию основного разряда между рабочими электродами предшествует возникновение тлеющего разряда между рабочими и поджигающими электродами,

который затем переходит на основные электроды. Для таких ламп зажигание электрического разряда в кварцевой горелке может быть произведено от сетевого напряжения 230 или 400 В. В схеме включения таких ламп (рис. 2.21) последовательно с лампой включается одно- или двухобмоточный дроссель. Так как при индуктивном балласте коэффициент мощности ПРА составляет 0,5...0,6, то для его повышения в схему вводится конденсатор C , емкость которого определяется мощностью лампы.

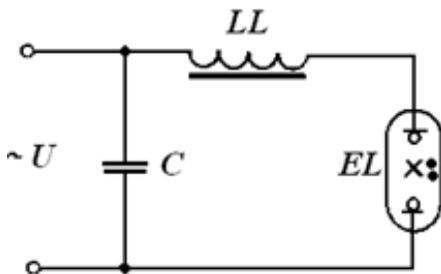


Рис. 2.21. Принципиальная схема включения четырехэлектродной лампы ДРЛ в сеть:
 LL – балластный дроссель;
 C – конденсатор; EL – лампа

Конструкция ламп ДРИ и ДНаТ для включения в сеть требует в дополнение к балластному сопротивлению наличия специального зажигающего устройства – УИЗУ (универсальное импульсное зажигающее устройство) или ИЗУ (импульсное зажигающее устройство), генерирующего импульсы высокого напряжения (рис. 2.22). Зажигающие устройства УИЗУ и ИЗУ относятся к генераторам параллельного (УИЗУ) и последовательного (ИЗУ) поджига с емкостным накопителем энергии и полупроводниковым ключом. Они обеспечивают надежное зажигание ламп при температуре окружающей среды до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

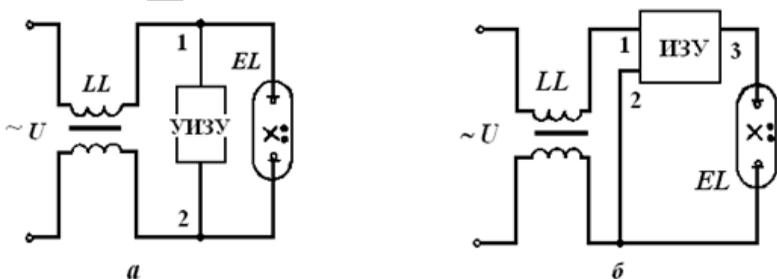


Рис 2.22. Принципиальная электрическая схема включения ламп ДРИ и ДНаТ с зажигающим устройством типов УИЗУ (а) и ИЗУ (б)

Отметим, что для каждой лампы в зависимости от ее типа и мощности используется свое балластное сопротивление, поскольку для каждой лампы характерны специфические условия разгорания и рабочие режимы. Например, масса дросселя для лампы ДРИ из-за большего рабочего тока примерно на 30 % больше, чем у дросселя для лампы ДРЛ той же мощности. Так как у ламп ДНаТ начальное напряжение горения на 25...30 % ниже, чем у ламп ДРЛ или ДРИ идентичной мощности, то в схемах их включения в сеть нельзя использовать балластные сопротивления, предназначенные для этих ламп. Поскольку коэффициент мощности комплекта «лампа–ПРА» составляет в среднем 0,5, при использовании газоразрядных ламп высокого давления целесообразно одновременно решать проблему его повышения.

В последнее время для включения в сеть газоразрядных ламп высокого давления вместо электромагнитных ПРА активно применяются электронные пускорегулирующие аппараты (ЭПРА), сочетающие в единой конструкции балластное сопротивление и устройство импульсного зажигания. Используемые для включения в сеть ламп ДРЛ, ДРИ и ДНаТ ЭПРА отличаются от электромагнитных ПРА рядом неоспоримых преимуществ. Они позволяют значительно уменьшить потери электрической энергии в ПРА, повысить коэффициент мощности, увеличить срок службы ламп и уменьшить пульсацию излучаемого ими светового потока.

Каждому электромагнитному ПРА присваивается условное обозначение, которое характеризует его назначение, устройство, исполнение и параметры. Структура условного обозначения часто используемых ПРА такова:

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

где 1 – цифра, указывающая на число одновременно присоединяемых к ПРА ламп;

2 – буквы ДБИ (дроссель балластный индукционный);

3 – цифры, указывающие мощность присоединенной лампы, Вт;

4 – буквы, указывающие тип лампы ДРЛ, ДРИ, ДНаТ соответственно для ламп этих типов;

5 – цифры, указывающие напряжение сети, на которое включается ПРА (230 или 400 В);

6 – буква, характеризующая конструктивное использование аппарата (В – встроенные в осветительный прибор, Н – независимые);

7 – трехзначное число, указывающее номер серии разработки ПРА;

8 – буква и цифры, указывающие климатическое исполнение и категорию размещения.

Пример условного обозначения ПРА: 1ДБИ–400ДНаТ/220–В–009 У4 – дроссель балластный индукционный для ламп типа ДНаТ мощностью 400 Вт на напряжение сети 220 (230) В, встроенный, серии разработки 009, климатического исполнения У и категории размещения 4.

Следует отметить, что довольно часто встречаются условные обозначения ПРА газоразрядных ламп высокого давления, идентичные по структуре с приведенными ранее обозначениями ПРА для люминесцентных ламп.

2.3.6. Специальные газоразрядные источники оптического излучения

В сельскохозяйственном производстве для непосредственного электротехнологического воздействия оптическим излучением на живые организмы и растения получили распространение специальные газоразрядные источники, излучающие в областях УФ (200...380 нм) и фотосинтетически активной (400...700 нм) частей спектра.

По распределению потока оптического излучения между различными областями УФ-спектра различают источники общего УФ (200...380 нм), бактерицидного (200...280 нм) и витального (280...315 нм) действий.

К источникам общего УФ-излучения относят дуговые ртутные трубчатые лампы высокого давления типа ДРТ, которые представляет собой трубку из кварцевого стекла, в концы которой впаяны вольфрамовые самокалящиеся электроды (рис. 2.23). В лампу вводят дозированное количество ртути и аргона. Для удобства крепления к арматуре лампа снабжена металлическим хомутом и держателем, которые соединены между собой металлической полоской, используемой для облегчения зажигания лампы. К сети переменного тока лампу присоединяют через ПРА посредством выступающих наружу молибденовых вводов.

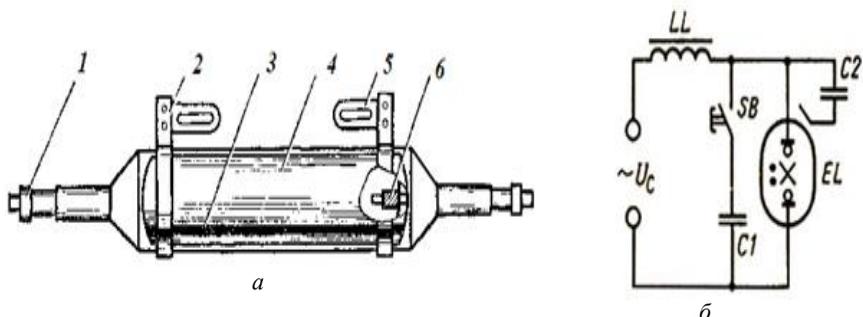


Рис. 2.23. Устройство (а) и схема включения (б) лампы ДРТ: 1 – ввод; 2 – металлический хомут; 3 – металлическая полоска; 4 – стеклянная цилиндрическая колба; 5 – держатель; 6 – вольфрамовый электрод

Схема включения лампы ДРТ в сеть содержит балластный дроссель LL , размыкающий ключ SB и два конденсатора $C1$ и $C2$. Если подать на схему напряжение и замкнуть ключ SB , то в электрической цепи (LL , SB и $C1$) появится ток, величина которого ограничивается сопротивлением дросселя и конденсатора. Резкий разрыв цепи ключом SB вызывает появление в дросселе ЭДС самоиндукции, которая прикладывается к лампе и пробивает газоразрядный промежуток. Металлическая полоска, подключаемая через конденсатор $C2$ к сети, облегчает пробой лампы. Для повышения коэффициента мощности к входу схемы обычно подключают конденсатор соответствующей емкости.

Период разгорания лампы длится 3...7 мин, в течение которых изменяются ее электрические и светотехнические параметры. Повторное зажигание погасшей лампы возможно после ее остывания (через 7...10 мин).

В качестве источников общего УФ-излучения применяют лампы ДРТ мощностью от 100 до 6000 Вт, из них в сельскохозяйственном производстве – в основном мощностью 100, 230, 400 и 1000 Вт (приложение 8). Средняя продолжительность горения ламп составляет 2000...2700 часов. В конце срока службы УФ-излучение ламп составляет не менее 60 % номинальных значений.

Разновидностью ламп ДРТ являются лампы ДРП, ДРТ2 и ДРП2. Они отличаются от базовой модели наличием тонкой кварцевой пленки с легирующими добавками, нанесенной на газоразрядную

стеклянную колбу, которая отфильтровывает коротковолновое УФ-излучение, генерируемое при электрическом разряде в парах ртути. Благодаря дополнительной пленке излучение с длинами волн 200...280 нм в общем потоке излучения лампы не превышает 5 %. Указанные лампы, а также лампы ДРТ мощностью 100, 120 и 250 Вт имеют четырехэлектродное исполнение, что обеспечивает поджигание газового разряда без каких-либо дополнительных устройств и приспособлений.

В качестве источников витального и бактерицидного излучения используют лампы соответственно ЛЭ (люминесцентная эритемная³⁰) и ДБ (дуговая бактерицидная). Эти источники относятся к газоразрядным лампам низкого давления и по конструкции схожи с рассмотренными выше люминесцентными лампами общего назначения.

Бактерицидные лампы являются источником коротковолнового УФ-излучения (диапазон УФ-С), большая часть которого (до 80 %) приходится на излучение с длиной волны около 254 нм. Отличительной особенностью конструкции лампы, в сравнении с люминесцентными лампами, является отсутствие люминофора на внутренней поверхности колбы, изготовленной из специального увиолевого стекла с легирующими присадками, хорошо пропускающего УФ-излучение диапазонов УФ-В и УФ-С. Лампы обозначают буквами ДБ и изготавливают на напряжение питающей сети 120 и 230 В номинальной мощностью 15, 30, 36 и 60 Вт. Технические параметры ламп ДБ приведены в приложении 8.

Витальные лампы типа ЛЭ являются источником средневолнового УФ-излучения (диапазон УФ-В). Они выполнены в виде цилиндрических трубок из увиолевого стекла, внутренняя поверхность которых покрыта тонким слоем люминофора, излучающего в УФ-области спектра с длиной волны 280...380 нм (максимум излучения в области 310...320 нм). Кроме сорта стекла, диаметра трубки и состава люминофора трубчатые витальные лампы конструктивно не отличаются от люминесцентных ламп.

Лампы ЛЭ выпускают мощностью 15 и 30 Вт. Кроме ламп ЛЭ выпускают витально-осветительные лампы ЛЭО, витальные

³⁰ С 1983 года вместо термина «эритемная» употребляется термин «витальная», однако в буквенном обозначении источников это изменение не отражено. В тексте далее придерживаемся термина «витальная».

рефлекторные лампы ЛЭР и витально-осветительные рефлекторные типа ЛЭОР. Витально-осветительные лампы ЛЭО предназначены для одновременного освещения помещений и витального облучения находящихся там людей, животных, птицы. Витально-рефлекторные лампы ЛЭР существенно снижают эксплуатационные расходы и увеличивают эффективность установок УФ-облучения, что обусловлено перераспределением витального потока в заданном рефлектором направлении и увеличением временных промежутков очистки ламп от пыли, дыма и копоти.

Обозначение ламп включает буквы ЛЭ, ЛЭО, ЛЭР или ЛЭОР, после которых следуют цифры, указывающие на мощность лампы в ваттах. Трубчатые витальные газоразрядные лампы низкого давления изготавливают мощностью 15, 30 и 40 Вт на напряжение питания 120 и 230 В. Их технические параметры приведены в приложении 8.

Следует отметить, что витальные (ЛЭ, ЛЭО, ЛЭР и ЛЭОР) и бактерицидные (ДБ) лампы включают в сеть переменного тока по тем же схемам и при помощи тех же ПРА, что и люминесцентные лампы соответствующей мощности.

При искусственном облучении растений применяют источники, преимущественно генерирующие излучение в диапазоне фотосинтетически активного спектра (400...700 нм). Это могут быть люминесцентные лампы (ЛД, ЛБ и др.) и газоразрядные лампы высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, ДКсТ). Однако для этих целей наиболее эффективны специально разработанные лампы с повышенной фитоотдачей: люминесцентные фотосинтетические типа ЛФ и ЛФР; дуговые ртутные люминесцентные фотосинтетические типа ДРЛФ; металлгалогенные дуговые ртутные высокого давления типа ДРФ, ДМЗ, ДМ4, ДРОТ и др (приложение 8).

Люминесцентные фотосинтетические лампы низкого давления типа ЛФ и ЛФР (Р – рефлекторная) по конструкции аналогичны люминесцентным лампам общего применения типов ЛБ, ЛД, ЛБР и др. Для включения их в сеть переменного тока используют те же схемы и ПРА соответствующей мощности. Их отличительная особенность – состав люминофора, при котором увеличивается поток излучения в диапазонах от 400 до 450 и от 600 до 700 нм, на которые приходятся максимумы спектральной чувствительности листьев зеленых растений. Их изготавливают мощностью: типа ЛФ –

40 Вт трех модификаций (ЛФ40, ЛФ40-1, ЛФ40-2) и типа ЛФР – 150 Вт, на напряжение питающей сети 230 В.

Конструктивно лампы ДРЛФ схожи с лампами ДРЛ соответствующей мощности. Их отличия: в составе люминофора, обеспечивающего увеличение доли излучения в красной части спектра; наличии под слоем люминофора отражающего покрытия, обеспечивающего требуемое распределение потока излучения в пространстве; увеличенных размерах внешней колбы из термостойкого стекла, снижающих температуру на ее поверхности и повышающих устойчивость к разрушению при попадании на поверхность капель воды; отсутствии люминофора примерно на третьей части стороны колбы, противоположенной цоколю Е40.

Металлогалогенные лампы высокого давления типа ДРФ по конструкции аналогичны металлогалогенным лампам типа ДРИ. Отличия только в наполнении кварцевой горелки ламп ДРФ, форме и размерах внешней колбы из термостойкого стекла (повышающих устойчивость к растрескиванию при попадании на поверхность капель воды) и наличии на внутренней поверхности колбы диффузно отражающего слоя из алюминия и его сплавов (перераспределяющего лучистый поток в пространстве). Для облучения растений используют лампы ДРФ мощностью 1000 Вт.

2.4. Светодиодные источники оптического излучения

Из твердотельных источников наиболее интересными и перспективными являются светодиодные источники света (англ. light-emitting diode, LED) или СИД (светоизлучающий диод) – полупроводниковые приборы с p - n -переходом, излучающие некогерентный свет при пропускании электрического тока.

Принцип действия светодиодов основан на физическом явлении возникновения видимого излучения при прохождении электрического тока через p - n -переход и рекомбинации (соединении) носителей противоположных знаков (дырок и электронов, соответственно в областях p и n) в случае инжекции последних извне. Если приложить к p - n -переходу постоянное напряжение в прямом направлении (плюсом к контакту p , а минусом – к n), через светодиод потечет ток. При прохождении электронов через активную зону p - n -перехода электроны рекомбинируют с дырками, в результате

чего выделяются фотоны оптического излучения. Цвет свечения (длина волны максимума спектра излучения) определяется типом используемых полупроводниковых материалов, образующих $p-n$ -переход.

Достоинства светодиодов:

- выполнены в твердотелом исполнении, не имеют никаких стеклянных колб и нитей накаливания, что обеспечивает высокую механическую прочность, ударную и вибрационную устойчивость;
- отсутствие частей с высокой температурой и высокими электрическими напряжениями гарантирует их электро- и пожаробезопасность;
- безинерционность при генерировании излучения делает их незаменимыми источниками в приборах и устройствах, требующих высокого быстродействия;
- миниатюрность;
- большой срок службы и высокий КПД в области видимого излучения;
- относительно низкие значения напряжения питания, потребляемые токи, энергопотребление;
- многообразие цветов свечения и направленность излучения без применения рефлектора;
- возможность регулирования интенсивности излучаемого светового потока.

Недостатки светодиодов:

- относительно небольшой световой поток от одного светоизлучающего элемента, а последовательное включение нескольких светодиодов снижает общую надежность устройства, поскольку выход из строя одного светодиода приводит к отключению всей цепочки;
- высокие требования к качеству теплоотвода, поскольку температура в зоне размещения оказывает решающее влияние на срок их службы, а необходимость использования радиатора удорожает изделие.
- изменение светотехнических и эксплуатационных параметров со временем;
- повышенные требования к источнику питающего напряжения (для питания светодиода необходимо понизить напряжения сети, и преобразовать в постоянный ток).

Общий вид и схематическое изображение конструкции светодиодов приведены на рис. 2.24. Светодиод состоит из полупроводникового кристалла на подложке, корпуса с контактными выводами и оптической системы. Конструкция светодиода обеспечивает минимальные потери излучения при выводе во внешнюю среду, фокусировку излучения в заданном телесном угле (от 4 до 170 градусов) и отвод теплоты от полупроводникового кристалла через медное или алюминиевое основание. Линза светодиода фокусирует излучение кристалла и защищает кристалл от влаги и коррозии.

Цвет излучения определяется используемыми полупроводниковыми материалами и легирующими примесями. Например, алюминий (Al), галлий (Ga), индий (In), фосфор (P) вызывают свечение в диапазоне от красного до желтого цветов, а индий (In), галлий (Ga), азот (N) используют для получения голубого и зеленого цветов.

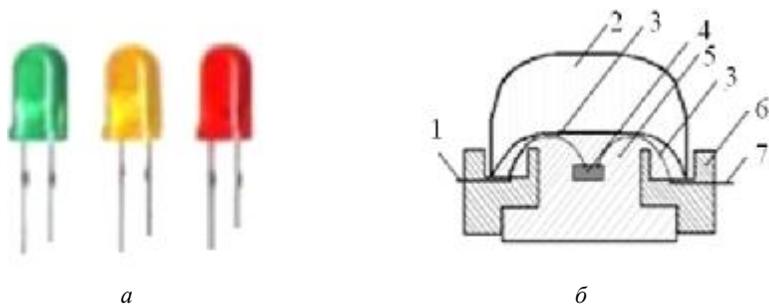


Рис. 2.24. Общий вид (а) и схематическое изображение конструкции (б) светодиода:
 1 – анод; 2 – полимерная линза; 3 – токоподводы; 4 – полупроводник;
 5 – основание, заполненное силиконом; 6 – корпус; 7 – катод

Светодиоды характеризуются следующими параметрами: типом корпуса³¹; номинальными рабочими током и напряжением или допустимыми диапазонами их изменения; спектром (цветом) излучения; углом рассеивания светового потока.

ВАХ светодиода нелинейная, и каждому значению напряжения соответствует своя величина тока. Чем выше напряжение, тем

³¹ Под типом корпуса, как правило, понимают диаметр и цвет линзы (колбы).

выше значение тока и тем больше излучаемый световой поток (светимость), так как световой поток изменяется (а следовательно, и регулируется) при изменении напряжения.

Применяемые для освещения светодиоды работают от источника постоянного тока напряжением 3,5...24 В. Так как светодиоды не в состоянии стабилизировать потребляемый ток, при их подключении к питающему напряжению используют токоограничивающие резисторы.

Для каждого светодиода существуют допустимые значения напряжения питания U_{\max} и U_{\min} . При подаче напряжения свыше значений U_{\max} наступает электрический пробой, в результате которого светодиод выходит из строя. При напряжении ниже U_{\min} светодиод не генерирует излучение. Диапазон питающих напряжений между U_{\min} и U_{\max} называют «рабочей» зоной (допустимым диапазоном изменения напряжения).

Светотехнические характеристики светодиода определяются значениями светового потока и осевой силы света, спектром излучения и углом рассеивания светового потока. Сплошной спектр излучения светодиодов, как правило, расположен в видимой области, но может частично располагаться и в длинноволновой УФ-и коротковолновой ИК-областях. Он зависит от состава полупроводниковых материалов, из которых изготовлен кристалл светодиода, температуры окружающей среды, величины питающего напряжения и протекающего через светодиод тока.

Угол рассеивания светового потока (угол излучения) в основном определяется конструкцией, оптическими свойствами используемых конструкционных материалов и формой линзы (колбы) светодиода.

Светодиод может подключаться к постоянному или переменному напряжению, при этом, как правило, последовательно с токоограничивающим резистором R (рис. 2.25). При подключении светодиода к сети переменного тока необходимо использовать как минимум выпрямительный диод. Количество светодиодов, последовательно подключенных к источнику напряжения, определяется значением напряжения источника и допустимым диапазоном изменения напряжения светодиода.

Срок службы светодиодов достигает 30 000...100 000 часов. Их световая отдача – 80...120 лм · Вт⁻¹, цветовая температура T_C –

2200...8500 К, индекс цветопередачи R_a – до 80. Они устойчивы к воздействию низких температур.

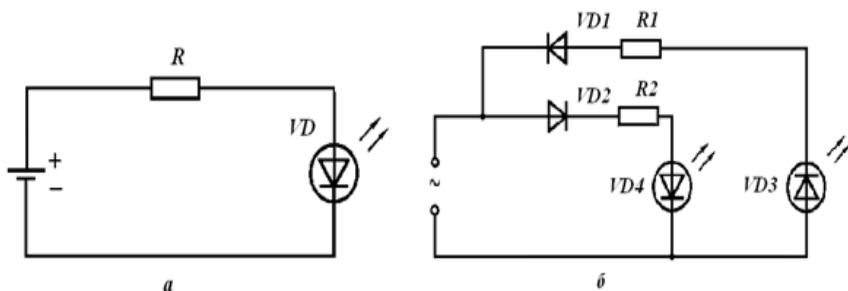


Рис. 2.25. Принципиальные схемы подключения светодиода к источникам постоянного (а) и переменного (б) токов

Светодиоды на сегодня нашли применение в осветительных установках, для архитектурной и ландшафтной подсветки, световой рекламы, светового дизайна помещений и мебели, в информационных табло, светофорах, дорожных знаках и указателях, и т. д. Комплектуя светодиоды в одно устройство, содержащее их десятки или сотни единиц, создают: светодиодные ленты; светодиодные лампы с резьбовым цоколем E14 и E27, заменяющие лампы накаливания и компактные люминесцентные лампы (рис. 2.26); светодиодные лампы трубки с цоколем G13, заменяющие люминесцентные лампы маркировки T8; светодиодные светильники и прожектора. Указанные осветительные приборы изготавливают самой разнообразной мощности – от единиц до десятков и сотен ватт.



Рис. 2.26. Общий вид светодиодных ламп с цоколем E14 и E27

2.5. Индукционные лампы

Один из недостатков люминесцентных ламп – наличие электродов, являющихся одной из причин выхода ламп из строя из-за их перегорания, – побудил к поиску путей его устранения. И в 1976 г. компанией Philips вниманию пользователей был представлен новый тип источника видимого излучения, который отличался принципом возбуждения атомов ртути внутри колбы лампы и явился прототипом современных индукционных ламп. Создание таких ламп стало возможным благодаря современной микроэлектронике, которая позволила создать малогабаритные и сравнительно дешевые источники высокочастотной энергии с высоким КПД.

Все возможные типы индукционных ламп состоят из трех основных узлов: малогабаритного источника высокой частотной (ВЧ) энергии, устройства для эффективной передачи ВЧ энергии в разряд, называемого индуктором, и разрядного объема. Различия в устройстве и конструкции узлов определяются выбранной для возбуждения разряда высокой частотой: с тороидальным индуктором на ферромагнитном сердечнике (частоты от 25 до 1000 кГц), с соленоидальным индуктором (частоты от 3 до 300 МГц) и сверхвысокочастотные (с частотой свыше 100 МГц).

Принцип действия индукционной лампы проиллюстрирован схемой, приведенной на рис. 2.27. Лампа изготавливается из стеклянной трубки, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором. Колба заполняется инертным газом с добавлением ртути (ртутной смеси). На колбу лампы (или в колбу лампы) монтируется индукционная катушка. Индукционная катушка к электрической сети подключается с помощью специального блока – ЭПРА, независимого от лампы или встроенного в резьбовой цоколь.

При подключении к электрической сети высокочастотное напряжение создает сильное магнитное поле, которое возбуждает атомы ртути. Возвращаясь в устойчивое состояние, возбужденные атомы ртути генерируют УФ-излучение, которое люминофором трансформируется в видимое излучение. Отметим, что, как и для обычных люминесцентных ламп, подбором состава люминофора в индукционных лампах можно регулировать цветовую температуру излучения – от 2700 до 6500 К.

ЭПРА индукционной лампы конвертирует низкочастотный переменный ток вначале в постоянный ток, а затем в ВЧ, который

и создает электромагнитное поле. К тому же в функцию ЭПРА входит ограничение рабочего тока и создание мощного стартового импульса, зажигающего лампы.

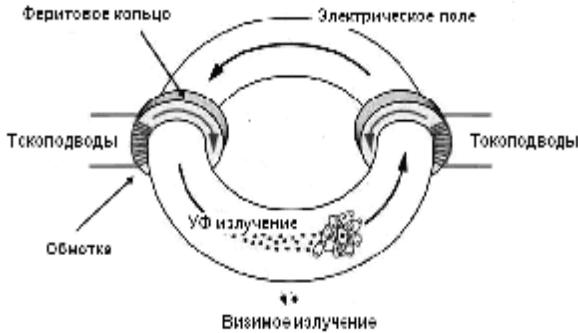


Рис. 2.27.
Принцип действия
индукционной
лампы

В зависимости от параметров питания индукционные лампы подразделяются на низкочастотные и высокочастотные. В низкочастотных лампах индукционная катушка находится снаружи лампы, а в высокочастотных она намотана на вмонтированный в колбу ферритовый стержень (рис. 2.28). Низкочастотные лампы с наружным размещением индукционной катушки имеют некоторые преимущества перед высокочастотными лампами. Во-первых, тепло, выделяемое балластом и магнитами, можно вывести с помощью систем охлаждения. В высокочастотных лампах тепловое излучение выделяется внутри лампы. Кроме этого высокочастотные лампы производятся только в овальной форме, низкочастотные лампы могут быть разных форм, например, круга или прямоугольника, что облегчает и повышает светоотдачу лампы. Также высокочастотные лампы имеют меньший срок службы из-за более высокой рабочей температуры.

Индукционные лампы на сегодня изготавливаются мощностью от 20 до 400 Вт. Их световая отдача – $60 \dots 100 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, номинальный срок службы – $60 \dots 120 \text{ тыс. час}$, индекс цветопередачи $R_a > 80$. Они отличаются относительно невысокой температурой колбы – $< 80 \text{ }^\circ\text{C}$, практически не измеряемым коэффициентом пульсации светового потока, незначительным снижением светового потока при эксплуатации и нечувствительностью к частым включениям и отключениям.

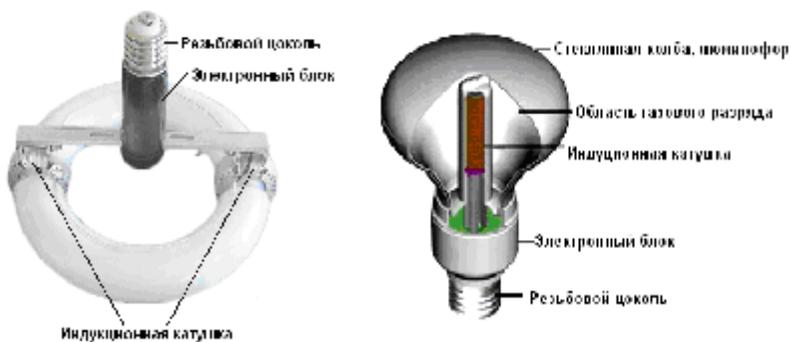


Рис. 2.28. Разновидности исполнения индукционных ламп

Основным недостатком индукционных ламп является высокая стоимость. К тому же они выходят на номинальный рабочий режим через 2...3 мин после включения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие электрические, светотехнические и эксплуатационные параметры источников оптического излучения используют для их характеристики и учитывают при сравнительной оценке и выборе?

2. Расскажите об известных Вам законах теплового излучения.

3. Поясните принцип действия ламп накаливания и расскажите об их устройстве, обозначении, номенклатуре, основных параметрах и характеристиках.

4. Поясните принцип действия кварцевых галогенных ламп накаливания и расскажите об их устройстве, обозначении, номенклатуре и основных параметрах.

5. Поясните принцип действия газоразрядных ламп, особенности их работы в электрической цепи и условия стабилизации режима дугового разряда.

6. Каковы отличительные особенности работы газоразрядной лампы в сети переменного тока при стабилизации режима дугового разряда с использованием различных балластных сопротивлений?

7. Как устроена люминесцентная лампа? Приведите их обозначение, номенклатуру, основные параметры и характеристики.

8. Поясните работу известных Вам схем включения в сеть люминесцентных ламп. Объясните структуру обозначения электро-

магнитных пускорегулирующих аппаратов, применяемых для их включения в сеть.

9. Расскажите об устройстве, обозначении, номенклатуре, основных параметрах и характеристиках газоразрядных ламп высокого давления типа ДРЛ, ДРИ и ДНаТ.

10. Поясните работу известных Вам схем включения ламп ДРЛ в сеть. Объясните структуру обозначения электромагнитных пускорегулирующих аппаратов, применяемых для управления их работой.

11. Поясните работу известных Вам схем включения газоразрядных ламп ДРИ и ДНаТ в сеть. Укажите номенклатуру и характеристики применяемой для их включения пускорегулирующей аппаратуры.

12. Поясните принцип действия светодиодных ламп и расскажите об их устройстве, основных параметрах и характеристиках, схемах включения в сеть.

13. Поясните принцип действия индукционных ламп и расскажите об их устройстве, основных параметрах и характеристиках, схемах включения в сеть.

3. УСТАНОВКИ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

3.1. Световые приборы

Устройство, содержащее корпус, источник(и) света и изделия, предназначенные для крепления источника(ов), включения его(их) в электрическую сеть, перераспределения светового потока, ограничения слепящего действия, защиты от механических повреждений, загрязнения и воздействия окружающей среды, называют *световым прибором*.

Световые приборы подразделяют на осветительные и светосигнальные, а осветительные световые приборы – на *светильники* (приборы ближнего действия), *прожекторы* (дальнего действия) и *комплектные осветительные устройства* на основе щелевых световодов.

3.1.1. Устройство, классификация, характеристики и обозначение светильников

Светильники предназначены для распределения светового потока источника(ов) и освещения объектов, находящихся от них на небольшом расстоянии. Основные элементы конструкции светильников: корпус, источник(и) света, оптическая система, ламподержатель(и) или патрон(ы), ПРА (для газоразрядных источников) и электротехнические изделия, предназначенные для подключения источника к электрической сети. Оптическая система светильников состоит из отражателей, рассеивателей, защитных стекол, экранирующих решеток, колец и предназначена в основном для перераспределения в требуемом направлении светового потока источников, защиты от их слепящего действия.

Отражатель перераспределяет световой поток источника за счет рассеянного (диффузного), направленного (зеркального) или направленно-рассеянного отражения. Отражатели с диффузным отражением изготавливают из покрытого белой эмалью металла. Материалом для изготовления зеркальных отражателей, существенно изменяющих форму кривой распределения силы света, чаще всего является стекло или металл (алюминий, сталь), обработанные соответствующим гальваническим или механическим способом. Направленно-рассеянное отражение характерно для металлических

отражателей с травленной или никелированной поверхностью, а также отражателей, покрытых алюминиевой краской.

Рассеиватель служит для равномерного распределения светового потока в заданном направлении и защиты глаз наблюдателя от чрезмерной яркости источника. Материалом для изготовления рассеивателей служат: прозрачные стекла, предварительно подвергнутые механической и химической матировке; глушеные стекла, в состав которых введены мельчайшие частицы примесей с коэффициентом преломления, не равным коэффициенту преломления стекла; пластмассы.

Светильники различают по распределению светового потока в пространстве, форме кривой силы света (КСС), способу установки и возможности перемещения при эксплуатации, степени защиты от воздействия окружающей среды, климатическому исполнению и категории размещения, степени пожаро- и взрывобезопасности, классу защиты от поражения электрическим током и целевому назначению, учитывающему возможность работы в определенных условиях эксплуатации.

В основу классификации светильников *по светораспределению* положено отношение светового потока, направленного в нижнюю полусферу пространства Φ_{\cup} , к полному световому потоку Φ , излучаемому светильником. В зависимости от значения отношения различают 5 классов светильников (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Классификация светильников по светораспределению

Класс светильника по светораспределению		Φ_{\cup} / Φ , %
Наименование	Обозначение	
Светильник прямого света	П	>80
Светильник преимущественно прямого света	Н	от 60 до 80
Светильник рассеянного света	Р	от 40 до 60
Светильник преимущественно отраженного света	В	от 20 до 40
Светильник отраженного света	О	<20

По *форме кривой силы света* светильники делят на 7 классов. Так как форма КСС реальных светильников несколько отличается

от типовой, при их классификации дополнительно регламентируются направление силы света с максимальным значением по величине и коэффициент формы КСС. В качестве коэффициента формы КСС K_{ϕ} выступает отношение максимальной силы света светильника I_{\max} к ее среднеарифметическому значению $I_{\text{ср. ариф}}$:

$$K_{\phi} = I_{\max} / I_{\text{ср. ариф}} \quad (3.1)$$

Классификация светильников по форме КСС приведена в табл. 3.2, а типовые КСС, построенные для условия, что в светильнике установлена лампа со световым потоком в 1000 лм, – на рис. 3.1.

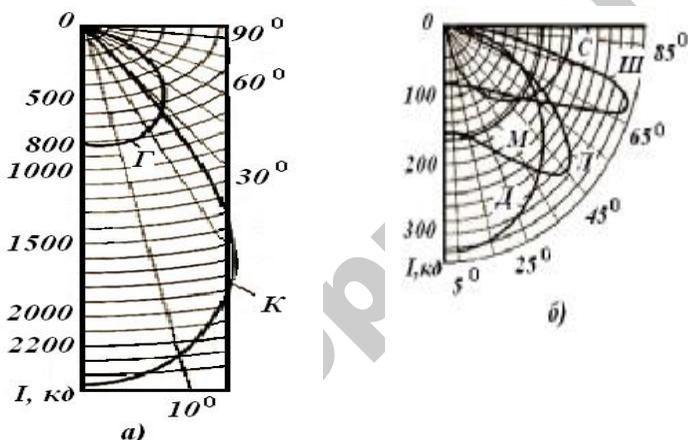


Рис. 3.1. Форма типовых кривых силы света: а – концентрированная (К), глубокая (Г); б – косинусная (Д), равномерная (М), полуширокая (Л), широкая (Ш), синусная (С)

На практике для повышения точности и унификации расчетов осветительных установок некоторые из типовых КСС детализируются с расширением количества типов до 13 – К-1, К-2, К-3, Г-1, Г-2, Г-3, Г-4, Д-1, Д-2, Л, Л-Ш, Ш, М [1], при сохранении их буквенного обозначения и наименования. Детализированные КСС с полями допусков на значения их силы света, построенные для условия, что в светильнике установлена лампа со световым потоком в 1000 лм, приведены в приложении 9. Светильники, КСС которых невозможно привести к типовой или детализированной, относят к светильникам со специальным светораспределением.

КСС определяет светораспределение светильников. Светильники могут быть симметричного (с симметричной формой фотометрического тела) и несимметричного (с несимметричной формой фотометрического тела) светораспределения. Для светильников с симметричным светораспределением характеристикой их светораспределения является продольная КСС, полученная в результате сечения фотометрического тела любой плоскостью, проходящей через вертикальную ось симметрии светильника. Для характеристики светильников с несимметричным светораспределением пользуются семейством КСС в разных плоскостях, иногда, например, для светильников с люминесцентными лампами, в двух – продольной и поперечной.

Таблица 3.2

Классификация светильников по типу КСС

Тип КСС		Зона направления максимальной силы света, град	Значение коэффициента формы КСС
Обозначение	Наименование		
К	Концентрированная	0...15	≥ 3
Г	Глубокая	0...30, 150...180	от 2 до 3
Д	Косинусная	0...35, 145...180	от 1,3 до 2
Л	Полуширокая	35...55, 125...145	$\geq 1,3$
Ш	Широкая	55...85, 95...125	$\geq 1,3$
М	Равномерная	0...180	$\leq 1,3$ при I_{\min} $> 0,7 I_{\max}$
С	Синусная	70...90, 90...110	$< 1,3$ при $I_0 <$ $0,7 I_{\max}$

Примечание:

I_0 – значение силы света в направлении оптической оси светильника;

I_{\min} , I_{\max} – минимальное и максимальное значения силы света.

По способу установки светильники подразделяют на: подвесные, потолочные, встраиваемые, настенные, настольные, напольные, консольные, венчающие, торцевые и др. (рис. 3.2).

В светильниках степень защиты от попадания посторонних твердых тел, пыли и проникновения влаги обозначается в полном соответствии с маркировкой степени защиты электротехнических изделий и оборудования [7], при этом:

– по степени защиты от пыли в основном их изготавливают в незащищенном (открытые 2, перекрытые 2'), пылезащищенном (полностью 5, частично 5') и пыленепроницаемом (полностью 6, частично 6') исполнениях;

– по степени защиты от влаги – незащищенном (0); каплезащищенном (2); дождезащищенном (3); брызгозащищенном (4); струезащищенном (5); водонепроницаемом (7) и герметичном (8) исполнениях.

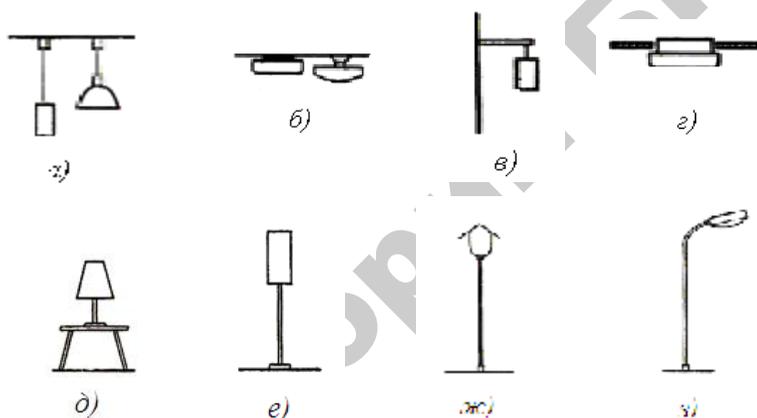


Рис. 3.2. Классификация светильников по способу установки: подвесные (а), потолочные (б), настенные (в), встраиваемые (г), настольные (д), напольные (е), венчающие (ж), консольные (з)

Светильники, предназначенные для эксплуатации во взрывоопасных помещениях и зонах, чаще всего изготавливают в исполнении: взрывобезопасном (иногда встречающаяся в обозначении маркировка – В) и повышенной надежности против взрыва (Н). Их степень защиты обеспечивается герметизацией токопроводящих контактных элементов и источника света и ограничением предельной температуры наружных частей.

Как и все электрооборудование по степени защиты от поражения электрическим током светильники разделяют на четыре класса [8]:

Класс 0 – защита от поражения электрическим током обеспечивается только основной (рабочей) изоляцией. Токоведущие части недоступны для прикосновения при замене источника света и профилактическом обслуживании. Присоединение корпуса к заземляющему проводнику не предусмотрено. Питание светильника осуществляется однофазной двухпроводной сетью.

Класс I – защита от поражения электрическим током обеспечивается как основной изоляцией, так и присоединением корпуса к защитному проводнику стационарной питающей сети.

Класс II – защита от поражения электрическим током обеспечивается двойной или усиленной изоляцией. Светильник не имеет устройства защитного заземления. Питание светильника осуществляется двухпроводной однофазной сетью.

Класс III – защита от поражения электрическим током обеспечивается применением безопасного сверхнизкого (<50 В) напряжения питания. Светильник не имеет зажимов для защитного заземления. Во внутренних цепях светильника не возникает напряжения выше 50 В.

На корпусе светильников классов I, II и III, присутствуют символы, соответственно, , , .

Каждому светильнику присваивают шифр по СТБ 1944-2009, структура условного обозначения которого такова:

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

где 1 – буква, обозначающая тип источника света (Н – лампы накаливания, И – кварцевые галогенные лампы накаливания, Л – прямые трубчатые люминесцентные лампы, Ф – фигурные люминесцентные лампы, Э – витальные лампы, Р – ртутные лампы высокого давления типа ДРЛ, Г – металлогалогенные лампы типа ДРИ, Ж – натриевые лампы, Б – бактерицидные лампы, С – зеркальные лампы-светильники, К – ксеноновые трубчатые лампы, Д – светодиодные лампы (модули);

2 – буква, обозначающая способ установки светильника (С – подвесные, П – потолочные, Б – настенные, Т – напольные и висячие, В – встраиваемые, К – консольные и т. д.);

3 – буква, обозначающая основные назначения светильника (П – для промышленных предприятий, О – для общественных

зданий, Б – для жилых (бытовых) помещений, У – для наружного освещения) и т. д.;

4 – двузначное число (01...99), обозначающее номер серии;

5 – цифра (цифры), обозначающая количество ламп в светильнике (в случае одной лампы цифра 1 и знак (×) не указываются);

6 – цифры, обозначающие мощность ламп, Вт;

7 – трехзначное число (000...999), обозначающее номер модификации;

8 – буква и цифра, указывающие на климатическое исполнение и категорию размещения по ГОСТ 15150³².

Наряду с условными обозначениями светильникам могут быть присвоены и условные наименования (собственные или фирменные), например, «Астра», «Бирюза», «Лада» и др. Однако это наименование должно только дополнять условное обозначение и без последнего применяться не может.

Дополнительными характеристиками светильников являются *КПД* и *защитный угол*.

КПД светильника (η) – отношение светового потока светильника $\Phi_{\text{свет}}$ к световому потоку источника $\Phi_{\text{источ}}$:

$$\eta = \Phi_{\text{свет}} / \Phi_{\text{источ}}, \quad (3.2)$$

КПД характеризует экономичность светильника и зависит от материала осветительной арматуры и конструкции светильника. Его значение, как правило, находится в пределах от 0,5 до 0,8. Общий КПД светильника могут подразделять на КПД в верхнюю (η_{\uparrow}) и нижнюю (η_{\downarrow}) полусферы.

³² Светильники, как и все электротехническое оборудование, могут быть предназначены:

– для эксплуатации в районах: У (латинское обозначение *N*) – с умеренным климатом; УХЛ (*NF*) – с умеренным и холодным климатом; ХЛ (*F*) – с холодным климатом и т. д.

– для размещения: 1 (цифровое обозначение) – на открытом воздухе; 2 – под навесом или в помещениях, где температура и влажность несущественно отличаются от аналогичных параметров на открытом воздухе и имеется свободный доступ наружного воздуха; 3 – закрытых помещениях с естественной вентиляцией, где температура и влажность воздуха, а так же воздействие песка и пыли меньше, чем на открытом воздухе; 4 – в помещениях с искусственно регулируемые климатическими условиями; 5 – в помещениях с повышенной влажностью

Защитный угол светильника γ определяет степень защиты глаза наблюдателя от воздействия ярких частей источника света (рис. 3.3). Его значение можно определить по формуле

$$\gamma = \arctg(h/l), \quad (3.3)$$

где h – высота от края входного отверстия светильника до светящегося тела источника или высота экранирующих элементов решетки (рис. 3.3), м;

l – расстояние по горизонтали от светящегося тела источника до края выходного отверстия светильника или между экранирующими элементами решетки, м.

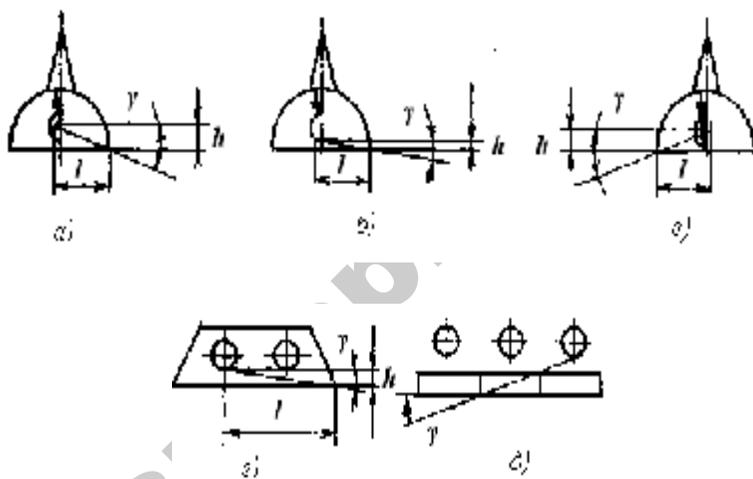


Рис. 3.3. Защитный угол светильников, создаваемый отражателями (а, б, в, г) и экранирующей решеткой (д), для светильников с лампами накаливания (а), газоразрядными лампами высокого давления (б, в) и люминесцентными лампами (г, д)

Защитный угол может быть отнесен к верхней или нижней полусфере.

Искусственное освещение бытовых, общественных и производственных помещений, в том числе сельскохозяйственного назначения, открытых территорий и навесов осуществляется светильниками с лампами: накаливания, газоразрядными высокого и низкого давления, светодиодными. Для этих целей изготавливают большое

разнообразие светильников всевозможного назначения, сфер применения, характера светораспределения, защиты от воздействия окружающей среды и т. д. Технические характеристики некоторых из них приведены в приложениях 10 и 11, а их внешний вид – на рис. 3.4 и 3.5. Воспользовавшись дополнительной справочной литературой или каталогами заводов-изготовителей, можно подобрать светильник, отвечающий любым светотехническим, экономическим и эстетическим требованиям.



Рис. 3.4. Внешний вид светильников для освещения производственных сельскохозяйственных помещений (слева на право) с:
 а) лампами накаливания (КЛЛ, светодиодными лампами) – НСП02, НПП03, НСП11, ПСХ, НСП20; б) люминесцентными лампами (светодиодными трубчатыми) – ЛСП02, ЛПП04, ЛСП10; в) газоразрядными лампами высокого давления ДРЛ, ДРИ, ДНаТ – РСП 05, ГСП07; ЖСП51



Рис. 3.5. Внешний вид светильников для наружного освещения территорий, проезжей части дорог и улиц (слева на право):
а) с газоразрядными лампами высокого давления ДРЛ, ДРИ, ДНаТ – (первый ряд) РКУ15, ГКУ 77, ЖКУ97, (второй ряд) РТУ 01, ГТУ06, ЖТУ06;
б) со светодиодными лампами – ДКУ02, ДТУ 08, ДТУ06, ДТУ 01

Из всего многообразия выпускаемых промышленностью светильников в сельскохозяйственном производстве получили распространение немногие. Это светильники с лампами накаливания серий НСП02, НСП03, НПП03, НПП05, НСП11, НСП17, НСП21, НСП22, с люминесцентными лампами – ЛСП01, ЛСП02, ЛСП04, ЛПП07, ЛСП09, ЛСП13, ЛСП15, ЛСП18, ЛСП21, ЛСП22, ЛСП23, с лампами ДРЛ – РПП01, РПП03, РПП04, РСП05, РСП04, РСП11, РСП17, РСП19, РСП20, РСП29, с лампами ДРИ – ГПП01, ГПП03,

ГСП04, ГСП05, ГСП25, с лампами ДНаТ – ЖПП01, ЖСП02, ЖСП04, ЖСП11, ЖСП17, ЖСП18, ЖСП21 и др. Отметим также, что светильники НСП02, НСП03, РПП01, ЖПП01, РСП29, ЛСП09, ЛСП15, ЛСП21 и ЛСП23 создавались применительно к использованию в производственных сельскохозяйственных помещениях с агрессивной окружающей средой, повышенной запыленностью и влажностью (коровниках, свинарниках, птичниках и т. п.).

3.1.2. Устройство, характеристики и область применения прожекторов

Прожектором называют световой прибор дальнего действия (более 30 м), перераспределяющий световой поток источника внутри малых телесных углов. Они служат для освещения удаленных объектов, находящихся на расстоянии, намного превышающем их размеры.

При освещении прожекторами облегчается эксплуатация осветительной установки за счет сокращения количества обслуживаемых световых точек, уменьшается число опор или мачт, на которые устанавливаются световые приборы, протяженность электрических сетей, улучшаются условия освещения вертикальных поверхностей. Однако при этом усиливается слепящее действие светового прибора, появляются резкие тени от крупных предметов, расположенных на освещаемой территории, возникает необходимость квалифицированного ухода за прожекторами (периодическая чистка отражателей и, в ряде случаев, фокусировка).

Прожектор конструктивно состоит из таких же элементов, как и светильник, – корпуса, оптической системы, источника света, патрона (ламподдержателей), ПРА (для газоразрядных источников) и других электротехнических изделий, и отличается в основном особенностями оптической системы, предназначенной для перераспределения в требуемом направлении светового потока источника.

Для освещения открытых пространств в сельскохозяйственном производстве применяют прожекторы как нового (типов НО, РО, ЖО, ГО, ИО серий 01, 02, 03, 05), так и предыдущего поколений (типов ПСМ, ПЗС, ПЗР, ПЗМ, ПЗИ, ПФР, ПФС, ПКН, ИЗУ, ПГП, ПГЦ и др.). Внешний вид некоторых из них приведен на рис. 3.6.

В качестве источников света в прожекторах используются лампы ДРИ мощностью 400, 700, 1000, 2000 и 3500 Вт, ДРЛ и ДНаТ –

250, 400, 700 и 1000 Вт, лампы накаливания, в том числе прожекторные, – 200, 500, 1000 и 1500 Вт, галогенные лампы накаливания – 1000, 1500 и 2000 Вт и ксеноновые лампы высокого давления ДКсТ – 6, 10, 20 и 50 кВт.

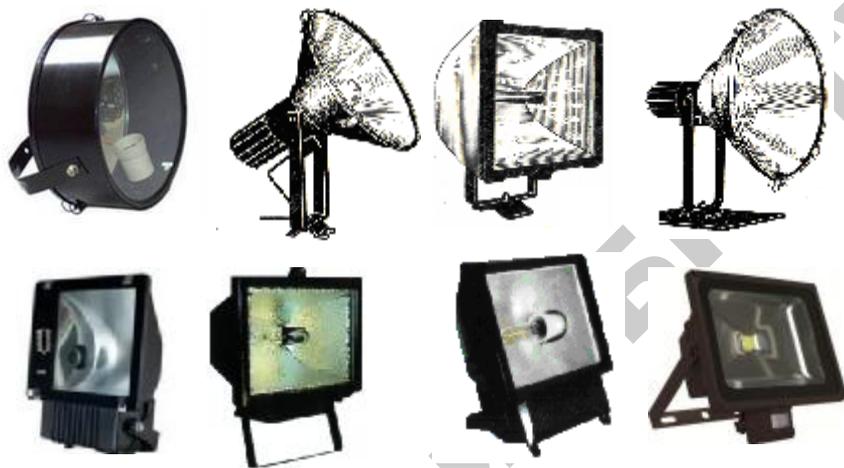


Рис. 3.6. Внешний вид прожекторов (слева направо): (первый ряд) ПЗС; ПЗР; ПКН; ПЗИ; (второй ряд) ГО10; ИО05; ЖО03, светодиодный

Буквенные обозначения в маркировке прожекторов означают:

– Г, Р, Ж, Н и И в прожекторах типов ГО, РО, ЖО, НО и ИО – тип источника света, соответственно, ДРИ, ДРЛ, ДНаТ, лампы накаливания общего назначения и галогенные;

– ПЗС – прожектор заливающего света со стеклянным отражением;

– ПСМ – прожектор среднего светораспределения с металлическим отражением;

– ПЗР – прожектор с лампой ДРЛ;

– ПКН – прожектор с галогенными лампами накаливания;

– ППП – прожектор с металлогалогенными лампами с параболическим зеркальным отражением;

– ППЦ – то же с параболическим отражением.

Цифры после букв – диаметр (см) выходного отверстия или мощность источника света (Вт).

3.1.3. Устройство и область применения комплектных осветительных устройств

Комплектные осветительные устройства (КОУ) на основе щелевых световодов – класс световых приборов, занимающих промежуточное положение между светильниками и прожекторами, максимально аккумулировавших их достоинства и обеспечивающих эффективное освещение, как правило, производственных помещений с большим содержанием пыли, копоти, влаги и агрессивной среды, в том числе взрывоопасной и пожароопасной, при снижении металлоемкости осветительных установок в 5...6 раз и затрат на обслуживание.

КОУ со щелевыми световодами поставляются полностью укомплектованными всем необходимым для монтажа и эксплуатации, включая источники света, электротехнические блоки (содержащие ПРА, зажигающие и предохраняющие элементы), монтажные узлы, и собираются непосредственно у потребителя.

Принцип действия КОУ заключается в том, что для освещения используют малое число мощных источников света, световой поток которых при помощи специальных оптических систем направляют в торец щелевого световода, в котором он равномерно распределяется и посредством отражателя направляется на рабочую поверхность. При этом обеспечивается равномерная освещенность широкой полосы рабочей поверхности освещаемого помещения, а светотехнические и эксплуатационные характеристики КОУ практически не зависят от воздействия окружающей среды.

КОУ состоит из следующих основных узлов: щелевого световода, камеры с источником света, блока ПРА, торцевого и переходного (для некоторых исполнений КОУ) элементов (рис. 3.7). Канал щелевого световода представляет собой полый удлиненный цилиндр из полиэтилентерефталатной пленки. Внутренняя поверхность канала, за исключением продольной светопропускающей полосы (оптической щели), покрыта зеркально отражающим слоем. Полиэтилентерефталатная пленка имеет малую толщину (20...50 мкм) и удельную массу (до $0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$), высокую температуростойкость (от -60 до $+140$ °С), светостойкость, способна свариваться и склеиваться.

Вводное устройство с источниками света и блоком ПРА смонтировано в специальной камере, которая обеспечивает их механическую защиту, электрическое питание и защиту от воздействия

окружающей среды. Торцевой элемент содержит дополнительный отражатель и является в основном монтажным узлом, служащим для формирования и крепления. Переходной элемент предназначен для передачи излучения источников света к световоду и одновременной изоляции камеры от освещаемого помещения.

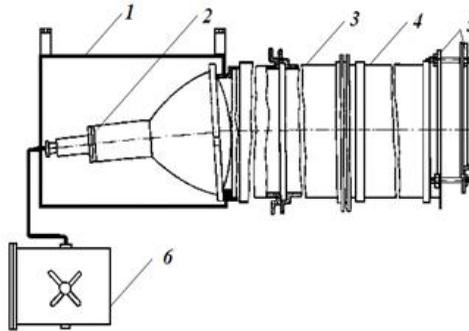


Рис. 3.7. Общий вид комплектного осветительного устройства со щелевым световодом типа КОУ1А-М275-1 × 700-УЗ:

- 1 – камера; 2 – вводная кассета с лампами; 3 – переходной элемент с двумя прозрачными термостойкими стеклами; 4 – канал щелевого световода;
- 5 – торцевое устройство; 6 – блок ПРА и защитно-коммутирующей аппаратуры

В серию КОУ входят следующие модификации, отличающиеся условиями применения:

- КОУ1 – для производственных помещений с тяжелыми условиями среды (с большим содержанием пыли и влаги), а также с взрывоопасными зонами классов В-Іб и В-Іа, с камерами, устанавливаемыми непосредственно в освещаемом помещении рядом с каналами световодов;

- КОУ1А – для производственных помещений с взрывоопасными зонами классов В-І, В-Іа и В-ІІ, с камерами, вынесенными за пределы ограждающих конструкций помещений и соединяемыми со световодами с помощью переходных элементов;

- КОУ1/С – без камер для помещений со строительными галереями, коммуникационными каналами и другими строительными конструкциями.

Расшифровка условного обозначения КОУ1А-М600-4 × 700/С-УЗ: КОУ – комплектное осветительное устройство; 1 – одностороннего действия (2 – двустороннего); А – имеется переходной элемент;

М – мягкая оболочка из пленки (Т – твердая); 600 – диаметр канала щелевого световода (условный), мм; 4 – количество источников света; 700 – мощность источника света, Вт; С – без дополнительной камеры для монтажа в строительных элементах зданий; УЗ – климатическое исполнение, категория размещения.

КОУ используют для создания безопасного освещения во взрывоопасных и пожароопасных помещениях малой высоты. Они обеспечивают: сокращение количества используемых источников и светильников, эксплуатационных расходов, протяженности и стоимости распределительной электрической сети, трудоемкости работ по монтажу; повышение надежности благодаря резервированию источников света; снижение затрат материалов и труда на изготовление КОУ в сравнении с производством светильников для тяжелых условий среды; использование газоразрядных ламп высокой мощности и интенсивности вместо большого количества ламп накаливания и газоразрядных люминесцентных ламп малой мощности. Основные преимущества КОУ: наличие холодного, без электрического потенциала щелевого световода; большая протяженность светящейся полосы с несимметричным в продольных плоскостях светораспределением, обеспечивающим высокую равномерность освещения; незначительное влияние окружающей среды на параметры в процессе эксплуатации благодаря особым аэродинамическим свойствам цилиндрических каналов, оптическая щель которых практически не загрязняется; концентрация нескольких газоразрядных ламп в одной точке обслуживания с возможностью их одновременного или раздельного включения; изменения положения щели путем поворота щелевого световода вокруг оптической оси, а также любого расположения КОУ в пространстве (до вертикального с расположением камеры снизу или сверху); варьирование спектра излучения путем использования светофильтров на вводе в щелевые световоды или применения ламп с разными спектрами излучения.

3.2. Нормирование освещенности рабочей поверхности

Преобразование оптического излучения в зрительные ощущения является сложным фотобиологическим процессом. Отраженный от поверхности объектов различения световой поток, пройдя через зрачок и среднюю часть глаза, падает на сетчатку и преобразуется в импульсы электрического тока, посылаемые по нервным волокнам

в головной мозг, где и формируется образ объекта. Уровень зрительного ощущения определяется освещенностью сетчатки глаза, которая пропорциональна яркости диффузно отражающей поверхности³³. Яркость определяется освещенностью поверхности и коэффициентом отражения излучения.

Если объект, который пытается обнаружить глаз наблюдателя, поместить на фоне такого же цвета, то вероятность подобного действия будет зависеть от значений яркостей объекта B_O и фона B_Φ . При одинаковых значениях яркости одноцветных объекта и фона объект практически не отличим от фона. Некоторая минимальная разность яркостей объекта и фона, при которой с заданной вероятностью обеспечивается обнаружение объекта, называется пороговой разностью яркостей (разностным порогом) $\Delta B_{\text{пор}}$:

$$\Delta B_{\text{пор}} = B_O - B_\Phi. \quad (3.4)$$

Отношение разности яркостей объекта и фона к яркости фона называют яркостным контрастом³⁴:

$$K = (B_O - B_\Phi) / B_\Phi. \quad (3.5)$$

Яркостной контраст, обеспечивающий заданную вероятность обнаружения объекта, принято называть *пороговым контрастом* $K_{\text{пор}}$:

$$K_{\text{пор}} = \Delta B_{\text{пор}} / B_\Phi. \quad (3.6)$$

Вероятность обнаружения объекта или различения его формы увеличивается с ростом его контраста³⁵ с фоном, углового размера объекта³⁶ и времени наблюдения.

Чем больше значение контраста объекта наблюдения с фоном по сравнению с его пороговым значением, тем объект наблюдения

³³ Яркость B_C ($\text{кд} \cdot \text{м}^{-2}$) поверхности – отношение силы света в направлении глаза наблюдателя к площади проекции элемента поверхности на плоскость, перпендикулярную линии зрения.

³⁴ Понятие *яркостной контраст* характерно для одноцветных объекта и фона. При разноцветных объекте и фоне используется понятие *цветовой контраст*, а в общих случаях, когда указанные особенности не выделяются, просто *контраст*.

³⁵ Контраст объекта различения с фоном – отношение абсолютной величины разности между яркостью объекта и фона к яркости фона.

³⁶ Угловым размером объекта называют отношение его абсолютного размера к расстоянию до глаза наблюдателя.

становится заметнее, с большей вероятностью и меньшим напряжением выполняется зрительная работа по его обнаружению. С учетом указанного свойства зрительного процесса принято определять видимость объекта ν как отношение контраста объекта наблюдения с фоном к пороговому значению контраста:

$$\nu = \lg [(10K) / (c K_{\text{пор}})], \quad (3.7)$$

где c – коэффициент запаса (по Р. Блэкуэллу равный 1,8...2).

Норма освещенности рабочей поверхности³⁷ определяет уровень минимального значения, обеспечивающей необходимые условия видимости предметов различия, и ее качественных показателей.

Нормирование искусственного освещения в Республике Беларусь регламентируется техническим кодексом установившейся практики (ТКП 45-2.04-153–2009) [9], который распространяется на установки искусственного освещения помещений зданий и сооружений, мест производства работ вне зданий, территории промышленных и сельскохозяйственных предприятий, наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов. ТКП 45-2.04-153–2009 определяет норму минимальной освещенности, которая может принимать одно из значений в соответствии со шкалой: 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.

В основу нормирования положен характер зрительной работы, определяемый размером объекта различения, разрядом зрительной работы, величиной контраста объекта с фоном и характеристикой фона.

В зависимости от характера зрительная работа в нормах подразделена на восемь видов: наивысшей; очень высокой; высокой; средней; малой; очень малой (грубая) точности; работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах и общее наблюдение за ходом производственного процесса.

Соотношение контраста объекта различия с фоном и характеристики фона определяют подразряд зрительной работы – a , b , v или z . Контраст объекта считается большим при $K > 0,5$ (объект и фон резко отличаются по яркости), средним при $K = 0,2...0,5$

³⁷ Рабочая поверхность – поверхность, на которой производится работа и нормируется или измеряется освещенность.

(объект и фон заметно отличаются по яркости) и малым при $K < 0,2$ (объект и фон мало отличаются по яркости).

Фон характеризуется коэффициентом отражения. В зависимости от коэффициента отражения фон считается светлым (коэффициент отражения более 0,4), средним (0,2...0,4) и темным (менее 0,2).

Нормированные значения освещенности рабочей поверхности по ТКП 45-2.04-153–2009 приведены применительно к обеспечению надлежащих условий видения газоразрядными лампами (если не указано иное). При использовании в осветительных установках ламп накаливания, значение нормируемой минимальной освещенности следует уменьшать на одну ступень по приведенной выше шкале.

Следует отметить, что использование ТКП 45-2.04-153–2009 на практике при определении норм минимальной освещенности конкретных производственных процессов весьма затруднено из-за необходимости учета множества трудно учитываемых параметров. К тому же они не распространяются на осветительные установки ряда объектов, в частности, спортивных сооружений, лечебно-профилактических учреждений, помещений для хранения сельскохозяйственной продукции, размещения растений, животных и птицы.

Несмотря на то, что в ТКП 45-2.04-153–2009 приведены нормируемые показатели освещения некоторых конкретных общепромышленных помещений и сооружений, общественных и жилых зданий, административных и бытовых помещений, а также помещений предприятий бытового обслуживания, при разработке проектов установок искусственного освещения активно используются на практике утвержденные в установленном порядке отраслевые нормы освещения, учитывающие специфические особенности технологического процесса отрасли.

В частности, применительно к объектам сельскохозяйственного производства таким нормативным документом являются «Отраслевые нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений» [10], которые устанавливают уровни минимально допустимой освещенности при выполнении технологических операций на этих объектах, определяют рабочую поверхность и плоскость, для которой нормируется освещенность (приложение 12). Некоторые рекомендуемые уровни минимальной освещенности других помещений, встречающихся в сельскохозяйственном производстве, приведены в приложениях 13 и 14.

ТКП 45-2.04-153–2009 регламентируют не только значения минимальной освещенности рабочих поверхностей, но и качественные показатели обеспечения условий видения – показатели дискомфорта и ослепленности, цилиндрическую освещенность, коэффициенты пульсации и неравномерности освещенности. При этом предельные значения коэффициента пульсации освещенности $K_{п}$, коэффициента неравномерности освещенности Z и показателя ослепленности P установлены для производственных помещений, а цилиндрической освещенности $E_{ц}$ и показателя дискомфорта M – для жилых и общественных помещений.

Коэффициент пульсации освещенности $K_{п}$, % – критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока источников, в первую очередь газоразрядных ламп, при питании их переменным током [1]. Он определяется по формуле

$$K_{п} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{cp}}} 100 \%, \quad (3.8)$$

где E_{\max} , E_{\min} и E_{cp} – соответственно максимальное, минимальное и среднее значения освещенности за период ее колебания, лк.

Пульсация светового потока газоразрядных ламп, питаемых током промышленной частоты, отрицательно сказывается на зрительной работоспособности и повышает утомление человека. Она способна вызвать стробоскопический эффект – явление искажения зрительного восприятия вращающихся, движущихся или сменяющихся объектов в мелькающем свете, которое возникает при совпадении кратности частотных характеристик движения объектов и изменения светового потока во времени в осветительных установках, в которых используются газоразрядные источники света, питаемые переменным током.

Нормами предусмотрено ограничение значений $K_{п}$ до 10, 15 или 20 % в зависимости от характера зрительных работ. Коэффициент пульсации освещенности не ограничивается при частоте переменного тока, питающего источники света, 300 Гц и более и для помещений с периодическим пребыванием людей при отсутствии в них условий для возникновения стробоскопического эффекта.

Расчет коэффициента пульсации освещенности при проектировании осветительной установки можно произвести по методам, изложенным в специальной литературе [1, 2, 12].

В осветительных установках помещений, в которых возможно возникновение стробоскопического эффекта, должны предприниматься меры по снижению пульсации светового потока источников. Снижение пульсации светового потока газоразрядных ламп, а следовательно, и освещенности рабочей поверхности, достигается (табл. 3.3):

- поочередным подключением светильников, соседних в ряду и соседних рядов, к разным фазам сети;
- питанием отдельных люминесцентных ламп в многоламповом светильнике от разных фаз сети;
- включением люминесцентных ламп в светильнике по схемам, обеспечивающим питание половины ламп отстающим, а второй половины – опережающим током.

Таблица 3.3

Примерные значения коэффициента пульсации светового потока различных источников и схем их включения

Тип лампы	Значения коэффициента пульсации светового потока расположенных в одной точке источников при различных способах их включения, %			
	одной лампы	двух ламп в схеме отстающего и опережающего тока	двух ламп в схеме с разными фазами	трех ламп в схеме с разными фазами
1	2	3	4	5
Лампа накаливания	10...15	–	6...8	1
Люминесцентные лампы типов:				
ЛТБ	21...25	8...10	9...11	2...3
ЛБ	25...34	10,5...14	10...14,4	2,2...3
ЛБЦТ	26...28	10...12	11...13	2...3
ЛХБ	33...35	15...16	14...16	3...3,5
ЛДЦ	40...72	17...23	17...30	3...7
ЛД	50...58	23...25	23...25	5...6
ЛЕЦ	60...68	25...27	25...27	6...7
КЛЛ (компактные)	32...35	13...15	13...15	3...4

1	2	3	4	5
Газоразрядные лампы высокого давления типов:				
ДРЛ	58...65	–	28...31	2...5
ДРИ	37...45	–	18...20	2...3
ДНаТ	77...80	–	37,7...40	9...10

Условия расположения светильников и схем включения в них ламп, при которых соблюдаются нормированные значения коэффициента пульсации освещенности, приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Условия размещения светильников и схем включения ламп, при которых соблюдаются нормированные значения коэффициента пульсации

Расположение светильников и схема включения ламп	Нормированные значения коэффициента пульсации, %
Лампы типа ДРЛ:	
совместная установка двух ламп разных фаз;	30
совместная установка трех ламп разных фаз	10, 15, 20, 30
Люминесцентные лампы при любом расположении светильников:	
число ламп в светильнике, кратное трем, с равномерным распределением по фазам сети;	10, 15, 20, 30
число ламп в светильнике, кратное двум, с включением половины ламп по схеме опережающего и половины по схеме отстающего тока, в том числе для ламп:	
ЛБ и ЛТБ	10, 15, 20, 30
ЛХБ	15, 20, 30
ЛДЦ	20, 30
ЛД	30
любое число ламп в светильнике и любая схема включения, в том числе для ламп:	
ЛБ и ЛТБ	30
прочие лампы	
Лампы накаливания при любом расположении светильников	10, 15, 20, 30

Слепящее действие, оказываемое осветительной установкой на глаз человека, для промышленных осветительных установок регламентируется **показателем ослепленности** P . Показатель ослепленности – критерий оценки слепящего действия осветительной установки – определяется по формуле

$$P = (S - 1) 1000, \quad (3.9)$$

где S – коэффициент ослепленности, равный отношению пороговых разностей яркости при наличии и отсутствии слепящих источников в поле зрения.

Показатель ослепленности в зависимости от характера зрительных работ регламентируется в пределах $P = 10 \dots 40$ [9]. Он не ограничивается для помещений, длина которых не превышает двойной высоты подвеса светильников над полом, а также для помещений с временным пребыванием людей и для площадок, предназначенных для прохода или обслуживания оборудования.

Показатель ослепленности осветительной установки определяют инженерными методами, изложенными в специальной справочной литературе [1, 2, 12]. В общем случае он является функцией следующих величин: параметров осветительной установки (высоты подвеса светильников над рабочей поверхностью и относительного расстояния между светильниками – отношения расстояния между светильниками к высоте подвеса светильников над рабочей поверхностью); параметров светильников (их светораспределения, яркости световой поверхности и источника, защитного угла и спектрального состава излучения источника света); параметров освещаемого помещения (длины и ширины, от которых зависит количество установленных светильников, находящихся в поле зрения, а также коэффициентов отражения рабочей поверхности, определяющих ее яркость).

Показатель дискомфорта M – критерий оценки дискомфортной блескости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения, выражающийся формулой [1]:

$$M = (L_C \omega^{0,5}) / (\varphi_0 L_{ад}^{0,5}), \quad (3.10)$$

где L_C – яркость блеского источника, кд · м⁻²;

ω – угловой размер блеского источника, стерadians;
 φ_0 – индекс позиции блеского источника относительно линии зрения;

$L_{ад}$ – яркость адаптации, кд · м⁻².

Показатель дискомфорта, регламентирующий ограничение слепящего действия в осветительных установках общественных, административных, жилых и бытовых помещений, в зависимости от характера зрительных работ не должен превышать значений 40, 60 или 90 единиц [9].

При проектировании показатель дискомфорта рассчитывается инженерными методами, изложенными в специальной литературе [1, 2, 14], или по упрощенной формуле:

$$M = M_T K_M, \quad (3.11)$$

где M_T – табличное значение показателя дискомфорта; K_M – поправочный коэффициент:

$$K_M = 0,5 \sqrt{\Phi_{\text{ср}} / S_{\text{вых}}}, \quad (3.12)$$

где $\Phi_{\text{ср}}$ – реальный световой поток светильника в нижнюю полу-сферу, клм;

$S_{\text{вых}}$ – площадь выходного отверстия светильника, м².

Табличное значение показателя дискомфорта M_T зависит от параметров освещаемого помещения (отношений длины и ширины к высоте), коэффициентов отражения поверхностей помещения (потолка, стен, пола и рабочей поверхности), отношения светового потока светильника, направленного в нижнюю полусферу, к его полному световому потоку [1].

Цилиндрическая освещенность $E_{\text{ц}}$ – характеристика насыщенности помещения светом. Определяется как средняя плотность светового потока на поверхности вертикально расположенного цилиндра, радиус и высота которого стремятся к нулю [1].

Цилиндрическая освещенность от отдельных светильников определяется делением вертикальной освещенности плоскости, перпендикулярной проекции луча, на π . Расчет цилиндрической освещенности при нескольких светильниках в осветительной установке производится инженерным методом по справочным данным [1, 2].

Коэффициент неравномерности освещенности – отношение максимальной освещенности точек рабочей поверхности E_{\max} к минимальной E_{\min} . Он не должен превышать для работ I–III разрядов при люминесцентных лампах 1,3 и при других источниках света – 1,5, а для работ IV–VII разрядов – 1,5 и 2,0 соответственно. Неравномерность освещенности допускается повышать до 3,0 в тех случаях, когда по условиям технологии светильники общего освещения могут устанавливаться только на площадках, колоннах или стенах помещения [9].

3.3. Проектирование установок искусственного освещения

При проектировании установок искусственного освещения приходится рассматривать вопросы инженерного характера (выбор источников света, системы и вида освещения, нормируемой освещенности и коэффициента запаса, осветительных приборов, размещение осветительных приборов в освещаемом пространстве, определение мощности и числа источников света, подведение к ним электрической энергии и обеспечение условий их надлежащей эксплуатации) и принимать определенные архитектурные решения, так как размещаемые в помещении осветительные приборы и электрическая сеть их питания определяют интерьер помещения и должны не нарушать его эстетического содержания. Правильно спроектированная осветительная установка должна обеспечивать оптимальную освещенность рабочей поверхности при наименьших затратах денежных средств на ее изготовление и эксплуатацию, и минимальном потреблении электрической энергии.

Так как осветительная установка представляет собой совокупность светотехнических (источники света и осветительные приборы) и электротехнических (провода и кабели для подвода электрической энергии, выключатели и переключатели, электрические соединители, патроны и стартеры, контактные зажимы, автоматические выключатели и предохранители, шкафы и щиты управления и защиты и т. п.) устройств, то ее проектирование разделяют на два этапа – проектирование светотехнической и электрической частей осветительной установки.

При проектировании светотехнической части осветительной установки придерживаются такой последовательности рассмотрения

основных взаимосвязанных вопросов: выбирают источники света, систему и вид освещения, нормируемую освещенность и коэффициент запаса, осветительные приборы; размещают осветительные приборы в освещаемом пространстве; определяют мощность или число источников света, устанавливаемых в осветительные приборы.

3.3.1. Выбор источников света

Выбор источников света определяется: показателями экономической целесообразности и эффективности, зависящими от стоимости источников и электрической энергии, световой отдачи и номинального срока службы ламп; требованиями к цветопередаче (при их наличии); родом тока, номинальным значением питающего напряжения, его возможным кратковременным изменением; температурными условиями эксплуатации. При выборе источников необходимо учитывать высоту помещения, способ размещения в нем светильников, архитектурные и эстетические требования к размещаемому в помещениях светотехническому оборудованию, требования к качественным показателям освещенности, например, к регламентируемому значению коэффициента пульсации освещенности.

Учитывая более высокую световую отдачу и сравнительно большой срок службы газоразрядных источников ТКП 45-2.04-153–2009 рекомендуют их преимущественное применение для освещения производственных, административных, бытовых и жилых помещений³⁸, и только в случае невозможности или технико-экономической нецелесообразности допускается использовать лампы накаливания.

Лампы накаливания следует применять только для освещения помещений, в которых производятся грубые работы или осуществляется общий надзор за работой оборудования, особенно если эти помещения не предназначены для постоянного пребывания людей: технические этажи и подполья, подвалы и чердаки, туннели и проходы, кладовые и склады, насосные и тепловые пункты, электрощитовые и вентиляционные. Их применяют также в случаях

³⁸ Отметим, что в ТКП 45-2.04-153–2009 ничего не сказано о светодиодных лампах. Однако, учитывая их технико-экономические показатели, сопоставимые, а зачастую и превосходящие газоразрядные источники низкого давления, включая и КЛЛ, то и их следует рекомендовать к преимущественному применению.

невозможности использования газоразрядных ламп по условиям окружающей среды, выполнения требований к максимальному значению напряжения питания (12...36 В) или роду тока (постоянный). В исключительных случаях при наличии технико-экономического обоснования лампы накаливания допускается использовать в помещениях основного производственного назначения, например, для хранения сельскохозяйственной продукции.

В общественных зданиях, служебно-бытовых помещениях и невысоких производственных помещениях преимущественное распространение получили люминесцентные лампы. Увеличение высоты помещения приводит к росту числа относительно маломощных светильников с люминесцентными лампами, возрастанию материалоемкости осветительной установки и трудоемкости ее обслуживания, поэтому в таких производственных помещениях (6 и более м) в основном применяют газоразрядные лампы высокого давления (типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ³⁹).

Выполнение нормативных требований к коэффициенту пульсации проще всего осуществить при использовании в относительно невысоких помещениях люминесцентных и светодиодных ламп, так как даже при использовании маломощных газоразрядных ламп высокого давления его снижение трудноосуществимо. Обратим внимание на то, что из всех газоразрядных ламп высокого давления наименьшим значением коэффициента пульсации светового потока, а, следовательно, и освещенности рабочей поверхности, отличаются лампы ДРИ. У ламп ДРЛ и ДНаТ он значительно выше, что усложняет технические решения по его приведению к нормативным требованиям.

При выборе источников света необходимо помнить, что расход электрической энергии уменьшается при использовании вместо ламп накаливания⁴⁰ компактных люминесцентных ламп (примерно

³⁹ Учитывая специфичный спектр излучения ламп ДНаТ, при их применении в производственных помещениях повышенное внимание уделяют выполнению нормативных требований по обеспечению качественных показателей освещенности [9], в частности индексу цветопередачи и диапазону цветовой температуры. При этом следует учитывать, что отмеченные требования, как правило, выполняются при применении ламп ДНаТ в сочетании с лампами ДРЛ и ДРИ в одном или рядом стоящих светильниках.

⁴⁰ С учетом снижения нормируемой освещенности для ламп накаливания на одну ступень в соответствии с требованиями ТКП 45-2.04-153–2009.

на 40...60 %), люминесцентных ламп (40...54 %), ламп типа ДРЛ (41...47 %), ламп типа ДРИ (54...65 %), ламп типа ДНаТ (57...71 %). Замена люминесцентных ламп на лампы типа ДРИ позволяет экономить 20...23 % электрической энергии, ламп ДРЛ на лампы ДРИ – 30...40 % и ламп ДРЛ на лампы ДНаТ – 38...50 %.

Выбирая источник света, следует учитывать и их недостатки: люминесцентные лампы ненадежно зажигаются при температуре окружающей среды ниже 0 °С; газоразрядные источники высокого давления не следует применять, если в электрической сети возможны понижения напряжения более чем на 10 % или кратковременное исчезновение напряжения, так как до их повторного зажигания должен пройти довольно продолжительный по времени период их остывания и разгорания до номинального режима.

3.3.2. Выбор системы и вида освещения

В осветительных установках применяют одну из двух общепринятых систем – общего или комбинированного освещения.

При общем освещении светильники размещают в верхней зоне помещения равномерно (общее равномерное освещение) или применительно к расположению оборудования (общее локализованное освещение). Система комбинированного освещения характеризуется наличием местных светильников, установленных непосредственно на рабочих местах и концентрирующих световой поток на рабочие поверхности. Светильники местного освещения дополняют освещенность рабочих мест, создаваемую светильниками общего освещения. Применение одного местного освещения внутри здания не допускается [1, 2, 9, 13, 15].

Систему комбинированного освещения применяют тогда, когда на рабочей поверхности необходимо создать освещенность более 200 лк при газоразрядных лампах и 100 лк при лампах накаливания. При этом освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять 10 % нормируемой для комбинированного освещения при тех источниках света, которые применяются для местного освещения, но не менее 200 и не более 500 лк при газоразрядных лампах и не менее 75 лк и не более 150 лк при лампах накаливания. Создавать системой общего освещения освещенность более 750 лк при газоразрядных лампах и 300 лк при лампах накаливания допускается только при наличии обоснований [1, 2, 9].

При обеспечении одинаковой освещенности осветительные установки с системой общего освещения обладают большей энергоемкостью по сравнению с установками, выполненными системой комбинированного освещения, поэтому нормами для систем общего освещения установлены при той же точности работ более низкие уровни освещенности.

Независимо от принятой системы общее освещение может быть выполнено с равномерным или локализованным размещением светильников. Локализованное размещение светильников применяют при наличии в одном помещении рабочих и вспомогательных зон, которые требуют менее интенсивное освещение, или крупногабаритных предметов, затеняющих рабочие поверхности.

Различают следующие виды освещения: рабочее, аварийное, охранный и дежурное. Аварийное освещение подразделяют на освещение безопасности и эвакуационное.

Рабочее освещение – освещение, обеспечивающее нормируемые значения освещенности и качественных показателей освещения в помещениях и местах производства работ вне зданий.

Освещение безопасности – освещение для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения. Его предусматривают для случаев, если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов, может вызвать: взрыв, пожар, отравление людей; длительное нарушение технологического процесса; нарушение работы таких объектов как диспетчерские пункты, насосные установки водоснабжения, канализации и теплофикации, установки вентиляции и кондиционирования воздуха для производственных помещений, не допускающих прекращения работ; нарушение режима детских учреждений, независимо от количества находящихся в них детей.

Освещение безопасности должно создавать на рабочих поверхностях производственных помещений и вне зданий, требующих обслуживания оборудования и механизмов при отключении рабочего освещения, наименьшую освещенность в размере 5 % освещенности, нормируемой для рабочего освещения, но не менее 2 лк внутри здания и 1 лк для территорий предприятий и не более 30 лк при газоразрядных лампах и 10 лк при лампах накаливания.

Эвакуационное освещение – освещение для эвакуации людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения.

Его следует предусматривать в помещениях и местах производства работ вне зданий: опасных для прохода людей; в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей, при числе эвакуирующихся более 50 человек; по основным проходам производственных помещений, в которых работают более 50 человек; в производственных помещениях с постоянно работающими в них людьми, где выход людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения связан с опасностью травматизма из-за продолжения работы производственного оборудования; в помещениях общественных зданий, административных и бытовых зданий промышленных предприятий, если в помещениях одновременно могут находиться более 100 человек; в производственных помещениях без естественного света.

Эвакуационное освещение должно обеспечивать освещенность на полу проходов (или на земле) и на ступенях лестниц в помещениях не менее 0,5 лк, а на открытых территориях не менее 0,2 лк.

Светильники, обеспечивающие освещение безопасности в помещениях, могут использоваться для обеспечения эвакуационного освещения, а все светильники аварийного освещения (безопасности и (или) эвакуационного) – для обеспечения нормируемых характеристик освещения совместно со светильниками рабочего освещения. В то же время светильники аварийного и рабочего освещения должны быть запитаны по различным питающим линиям и схемам.

При использовании светильников аварийного освещения для обеспечения нормируемых характеристик освещенности рабочих поверхностей они должны включаться одновременно со светильниками рабочего освещения и оставаться в рабочем состоянии при их аварийном отключении. Если же светильники аварийного освещения не используются совместно со светильниками рабочего освещения для обеспечения нормируемых характеристик освещенности рабочих поверхностей, они должны автоматически включаться при аварийном отключении светильников рабочего освещения.

В светильниках освещения безопасности и эвакуационного освещения следует применять лампы накаливания и светодиодные, а при обеспечении некоторых дополнительных ограничений, газоразрядные лампы низкого и высокого давления, в частности, при использовании люминесцентных ламп температура окружающей среды в помещениях должна быть не менее 5 °С и напряжение

их питания во всех рабочих режимах не ниже 90 % номинального значения. Использование газоразрядных ламп высокого давления допускается при условии обеспечения их мгновенного или быстрого повторного зажигания как в горячем состоянии после кратковременного отключения питающего напряжения, так и в холодном состоянии.

Охранное освещение – освещение вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время. Оно должно обеспечивать освещенность не менее 0,5 лк на уровне земли в горизонтальной плоскости или на уровне 0,5 м от земли на одной стороне вертикальной плоскости, перпендикулярной линии границы.

Дежурное освещение – освещение помещений и мест производства работ вне зданий в нерабочее время. ТКП 45-2.04-153–2009 не регламентирует какие-либо требования к его организации, области применения, значениям создаваемой им минимальной освещенности. Однако в сельскохозяйственных помещениях для содержания животных принято из числа светильников рабочего освещения выделять светильники дежурного освещения, предназначенного для периодического контроля в нерабочее время состояния животных и безопасного движения дежурного персонала в проходах и коридорах. В помещениях для содержания животных они должны составлять приблизительно 10 %, а в родильных отделениях – 15 % от общего числа светильников рабочего освещения в помещениях [10].

К дежурному освещению иногда относят наружное освещение входов в помещениях и световые указатели выходов из помещения.

3.3.3. Выбор нормируемой освещенности и коэффициента запаса

Требуемый уровень минимальной освещенности при проектировании осветительной установки определяют по ТКП 45-2.04-153–2009 или по отраслевым нормам искусственного освещения.

При этом если в осветительной установке применены лампы накаливания, а нормированная минимальная освещенность приведена только для газоразрядных источников, то ее значение следует снижать по приведенной в § 3.2 шкале:

- на одну ступень при системе комбинированного освещения для нормируемой освещенности 750 лк и более;
- на одну ступень при системе общего освещения для I...V и VII разрядов работ при освещенности, не превышающей 300 лк;

– на две ступени при системе общего освещения для VI и VIII разрядов работ.

При выборе нормируемой освещенности по ТКП 45-2.04-153–2009 ее значение следует повышать на одну ступень при выполнении работ:

– отнесенных к I...VI разрядам, если зрительная работа выполняется более половины рабочего дня;

– с повышенной опасностью травматизма, в случаях, если освещенность от системы общего освещения составляет 150 лк и менее;

– со специально повышенными санитарными требованиями, если освещенность от системы общего освещения составляет 500 лк и менее;

– подростками (в том числе при производственном обучении), если освещенность от системы общего освещения составляет 300 лк и менее;

– в помещениях без естественного освещения при постоянном пребывании работающих, если освещенность от системы общего освещения составляет 750 лк и менее;

– с наблюдением за деталями, вращающимися со скоростью $500 \text{ об} \cdot \text{мин}^{-1}$ и более, или объектами, движущимися со скоростью $1,5 \text{ м} \cdot \text{мин}^{-1}$ и более;

– с постоянным поиском объектов различения на поверхности $0,1 \text{ м}^2$ и менее;

– когда более половины работающих старше 40 лет.

Использование отраслевых норм в практических расчетах упрощает выбор нормируемой освещенности и приводит к единству принимаемых решений. Однако следует отметить, что отраслевые нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений [10], используемые в республике, давно не пересматривались и их следует привести в соответствие с современными требованиями [9].

При эксплуатации осветительной установки освещенность на рабочих местах уменьшается. Основная причина снижения освещенности – уменьшение светового потока источников в процессе эксплуатации вследствие старения как источников, так и рассеивателей и отражателей светильников, загрязнения источников, осветительной арматуры, стен, потолка и рабочей поверхности освещаемого помещения.

Поскольку нормированные значения освещенности должны быть обеспечены в течение всего периода эксплуатации осветительной установки, уменьшение освещенности компенсируется в светотехнических расчетах введением коэффициента запаса K_z ,

значение которого определяется наличием пыли, дыма и копоти в рабочей зоне помещения, конструкцией светильников, типом источников света и периодичностью чисток светильников. Значения коэффициентов запаса K_3 в соответствии с рекомендациями [9] приведены в таблице 3.5.

Значения коэффициентов запаса K_3 приводятся и в отраслевых нормах искусственного освещения. Так, для сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений отраслевые нормы [10] рекомендуют коэффициент запаса K_3 для ламп накаливания – 1,15, а для газоразрядных ламп – 1,3. При этом чистка светильников должна производиться не реже 1 раза в 3 месяца. Как видим, для большинства сельскохозяйственных помещений, зданий и сооружений, отличающихся наличием значительного количества пыли в воздухе, а также паров и газов, способных ускорить коррозию электротехнического и светотехнического оборудования, они явно занижены в сравнении с ТКП 45-2.04-153–2009 [9].

Таблица 3.5

Рекомендуемые значения коэффициента запаса K_3 при указанном количестве чисток светильников во время эксплуатации

Помещения и территории	Коэффициент запаса K_3 *	Количество чисток светильников в год
1. Производственные помещения с воздушной средой, содержащие в рабочей зоне:		
а) пыли, дыма, копоти с концентрацией:		
свыше $5 \text{ мг} \cdot \text{м}^3$	2,0; 1,7; 1,6 **	18; 6; 4 **
от 1 до $5 \text{ мг} \cdot \text{м}^3$ ***	1,8; 1,6; 1,6	6; 4; 2
менее $1 \text{ мг} \cdot \text{м}^3$ ***	1,5; 1,4; 1,4	4; 2; 1
б) значительные концентрации паров, кислот, щелочей, газов, способных при соприкосновении с влагой образовывать слабые растворы большой коррозионной способности ****	1,8; 1,6; 1,6	6; 4; 2

Помещения и территории	Коэффициент запаса K_3 *	Количество чисток светильников в год
2. Производственные помещения с особым режимом по чистоте при обслуживании светильников:		
а) с технического этажа	1,3	4
б) снизу из помещения	1,4	2
3. Помещения общественных и жилых зданий:		
а) пыльные, жаркие и сырые	1,7; 1,6; 1,6	1...2
б) с нормальными условиями среды	1,4	2; 1; 1
4. Территории с воздушной средой, содержащей:		
а) большое количество пыли (более $1 \text{ мг} \cdot \text{м}^3$)	1,5	4
б) малое количество пыли (менее $1 \text{ мг} \cdot \text{м}^3$)	1,5	2
5. Населенные пункты	1,5	1...2

* Значения K_3 приведены для газоразрядных светильников. При применении светильников с лампами накаливания их следует умножать на 0,85.

** Значения K_3 указаны в соответствии с количеством чисток, например, $K_3 = 2,0$ при 18 чисток в год.

*** Значения K_3 следует снижать при односменной работе на 0,2 и при двухсменной работе на 0,15.

**** Значения K_3 следует снижать при односменной работе на 0,1.

3.3.4. Выбор светильников

Важным вопросом, решаемым при устройстве осветительной установки и определяющим ее экономичность, качество освещения, удобство эксплуатации, соблюдение эстетических требований к оформлению интерьера помещения, является выбор светильников и их расположение в освещаемом помещении. Тип, следовательно, и устройство светильника в значительной мере определяют качество

освещения – равномерность освещения рабочей поверхности, распределение освещенности по поверхностям помещения, соотношение горизонтальной и вертикальной освещенностей, степень смягчения теней, прямой и отраженной блескости.

При выборе светильника учитывают его назначение и эксплуатационную группу, способ монтажа и вид крепления, принятый источник света, характер окружающей среды, светораспределение, требования к ограничению слепящего действия, экономическую целесообразность. В общих случаях наиболее целесообразный тип светильника следует определять на основе полного технико-экономического сопоставления возможных вариантов.

Приступая к выбору светильников, необходимо иметь четкое представление о категории помещения, в котором предполагается их эксплуатировать. Условия окружающей среды в помещениях или их отдельных зонах определяются температурой и влажностью воздуха, наличием в нем пыли и агрессивных газов, потенциальной возможностью возникновения взрыво- или пожароопасности. По воздействию условий окружающей среды на электро- и светотехническое оборудование сельскохозяйственные помещения могут быть отнесены к сухим, влажным, сырým, особо сырým, жарким, пыльным, с химически активной или органической средой [7, 16]. Если в помещении одновременно присутствует несколько отмеченных выше факторов, способных оказать какое-либо воздействие на электрооборудование, то при анализе условий окружающей среды в помещении его следует классифицировать комплексно. Например, если в помещениях с химически активной или органической средой относительная влажность воздуха близка к 100 %, что чаще всего для них характерно, то их относят к особо сырým помещениям с химически активной или органической средой.

Весь объем помещения или отдельная его часть, а также открытое пространство вне помещения могут быть отнесены к пожароопасным (класса П-I, П-II, П-IIa или П-III) или взрывоопасным (класса В-I, В-Ia, В-Iб, В-Iг, В-II, В-IIa) зонам [7, 16]. Установленное в таких помещениях или зонах электрооборудование представляет опасность из-за потенциальной возможности быть причиной пожара или взрыва вследствие ненормальных рабочих режимов, вызывающих перегрев и (или) искрение.

По возможности поражения людей электрическим током их подразделяют на: без повышенной опасности; с повышенной опасностью и особо опасные [8].

Примерное разделение некоторых сельскохозяйственных помещений по категориям в зависимости от условий окружающей среды приведено в приложении 15.

При выборе светильников необходимо сопоставить степень их защиты и характер окружающей среды, в которой они будут эксплуатироваться.

Степень защиты светильников, как и другого электротехнического оборудования, определяется маркировкой, состоящей из букв латинского алфавита IP (International Protection), за которыми следуют две цифры, первая из которых означает степень защиты персонала от прикосновения к токоведущим и движущимся частям, попадания через оболочку твердых посторонних тел и пыли, а вторая – от проникновения влаги (приложение 16).

Для светотехнических изделий степени защиты отдельных их полостей могут несколько отличаться от общепринятых. Например, в исполнении 2' защита от попадания твердых тел соответствует классу 2, но попадание пыли ограничивается только неуплотненными светопропускающими оболочками. В исполнении 5' и 6' колба лампы не защищена от воздействия пыли, в то время как остальные полости светильника соответствуют степени защиты 5 и 6. В таком исполнении степень защиты светильника маркируется в виде 2'2, 5'4, 6'5 и т. п. (без букв IP).

При изготовлении светотехнических изделий используют не все возможные комбинации степеней защиты от попадания посторонних твердых тел, пыли и воды, а преимущественно: IP00, IP10...IP12, IP20...IP23, IP30...IP34, IP40...IP44, IP50...IP56, IP60, IP65...IP68, а также 2'0...2'3, 5'0...5'5 и 6'0...6'8. В помещениях, зданиях и сооружениях с технологическим процессом, специфичным для сельскохозяйственного производства, предпочтительно применять электротехнические изделия и электрооборудование степеней защиты IP23, IP30, IP31, IP41, IP44, IP51, IP54, IP55.

Светотехнические изделия, предназначенные для эксплуатации во взрывоопасных помещениях и зонах, подразделяют на группы: I – для шахт и рудников, опасных по газу или пыли; II – для внутренней или наружной установки, за исключением шахт и рудников.

Изделия группы II в зависимости от уровня взрывозащиты подразделяют на: повышенной надежности против взрыва (уровень защиты 2); взрывобезопасные (уровень защиты 1) и особо взрывобезопасные (уровень защиты 0). Изделия любого уровня (2, 1 или 0) могут отличаться видом защиты, обозначаемым латинской буквой⁴¹.

Буквенно-цифровая маркировка изделий группы II, например, 1ExdeII или 2ExdII, может состоять из:

- цифры (2, 1 или 0), указывающей на уровень взрывозащиты;
- символа из латинских букв Ex, подчеркивающего соответствие изделия требованиям стандартов взрывозащиты;
- латинской буквы (или нескольких букв), обозначающей вид защиты и поясняющей технологию его обеспечения;
- цифры II, обозначающей группу, или символов IA, IB или IC, приводимых для изделий, подразделяемых на подгруппы;
- буквы T с цифрой (1, 2, ..., 6), указывающей на температурный класс изделия (T1, T2, ..., T6).

При выборе светильников необходимо сопоставить степень их защиты и характер окружающей среды, в которой они будут эксплуатироваться. В табл. 3.6 для различных категорий помещений и наружных осветительных установок приведены рекомендации по минимально допустимой степени защиты и выводы о целесообразности использования светильников. Отметим также, что для сырых, особо сырых помещений и помещений с химически активной средой предпочтительны светильники с корпусами и отражателями из влагостойкой пластмассы, фарфора, покрытые силикатной эмалью. В жарких помещениях или зонах рекомендуется употреблять

⁴¹ Степень защиты, обозначаемая латинской буквой, означает:

d – взрывонепроницаемая оболочка, предотвращающая распространение продуктов взрыва из оболочки в окружающую среду;

i – искробезопасная оболочка, электрический разряд или нагрев в которой не способны воспламенить взрывоопасную среду;

e – отсутствие искрящих контактов при штатном режиме работы и предприняты дополнительные меры, затрудняющие нагрев, искрение и образование газоразрядных дуг;

o – заполнение оболочки негорючим маслом или жидким диэлектриком;

q – заполнение оболочки кварцевым песком;

p – продувка оболочки избыточным давлением воздуха или инертного газа;

s – специальная технология обеспечения взрывозащиты, отличающаяся от приведенных выше.

амальгамные люминесцентные лампы. В пыльных помещениях целесообразно применять в светильниках лампы с внутренним отражающим слоем и не использовать светильники с экранирующими решетками, сетками и подобными им элементами, способствующими скапливанию пыли.

Таблица 3.6

Минимально допустимые степени защиты светильников в непожаро- и невзрывоопасных помещениях с разными условиями среды и в наружных установках [5, 13, 46]

Степень защиты светильников	Тип источника света	Характеристика помещений							
		с нормальной средой	влажные	сырые	особо сырые	с химически активной средой	жаркие	пыльные	наружные установки
IP20	ЛЛ	+	×	-	-	-	+	× ⁵⁾	-
	ЛН, ГЛВД	+	×	× ¹⁾	-	-	+	× ⁵⁾	-
IP23	ЛЛ, ЛН, ГЛВД	(-)	+	× ²⁾	× ²⁾	× ^{2), 8)}	×	× ⁵⁾	+
2'0	ЛЛ	+	×	(-)	-	-	×	-	-
	ЛН, ГЛВД	+	×	(-)	-	-	× ⁷⁾	-	-
5'0	ЛН, ГЛВД	(-)	(-)	× ¹⁾	-	×	+	+ ⁶⁾	- ⁹⁾
5'3	ЛН, ГЛВД	(-)	(-)	× ²⁾	× ²⁾	× ²⁾	×	+ ⁶⁾	×
5'4	ЛЛ	(-)	(-)	+	+	+	+	+	×
IP51	ЛН	(-)	(-)	× ⁴⁾	× ⁴⁾	× ⁴⁾	× ⁷⁾	+	× ^{7), 9)}
IP53	ЛЛ	(-)	(-)	+	+	+	×	+	+
	ЛН, ГЛВД	(-)	(-)	+ ²⁾	+ ²⁾	+ ²⁾	× ⁷⁾	+	× ⁹⁾
IP54	ЛН	(-)	(-)	+	+	+ ³⁾	× ⁷⁾	+	+
	ГЛВД	(-)	(-)	+	+	+	×	+	+

Условное обозначение вывода о целесообразности использования светильников: + – рекомендуется; ´ – допускается; – – запрещается; (–) – применение возможно, но нецелесообразно. Типы источников света: ЛЛ – люминесцентные лампы; ЛН – лампы накаливания; ГЛВД – газоразрядные лампы высокого давления.

Примечания, принятые в таблице:

¹⁾ Допускается при наличии фарфорового патрона и отсутствии капель воды, падающих на светильник.

²⁾ При наличии брызг воды (растворов), падающих под углом более 60° к вертикали, установка светильников с ГЛВД и ЛН со степенями защиты IP23, 5'0 и 5'3 запрещается.

³⁾ В условиях частных заливов водой (растворами) рекомендуются светильники с боковым вводом проводов.

⁴⁾ При наличии брызг, падающих под углом более 15° к вертикали, использование светильников со степенью защиты IP51 (с нетермостойким стеклом) допускается при условии установки в них ламп меньшей мощности, чем номинальные для данных светильников.

⁵⁾ При ограниченном количестве пыли в зоне установки рекомендуются светильники со степенью защиты IP20, IP23.

⁶⁾ Светильники со степенью защиты 5'X предпочтительнее чем со степенью защиты IP5X при малом количестве пыли, расположении в местах, неудобных для обслуживания, жарких помещениях. При гидроудалении пыли степень защиты должна быть не ниже IP55 или 5'5.

⁷⁾ Рекомендуется установка в светильник со степенью защиты IP5X, IP6X, 2'X ламп меньшей мощности, чем номинальная для данного светильника.

⁸⁾ Только при условии выполнения деталей светильника (контактов, патронов, цоколей ламп) из материалов, не подверженных воздействию данной химической среды.

⁹⁾ Допускается применение при наличии защиты светильников от атмосферных осадков (при установке под навесами, защитными козырьками и др.).

В сельском хозяйстве применительно к климатическим условиям Республики Беларусь рекомендуется использовать электротехнические изделия и оборудование климатического исполнения У(N) и УХЛ(NF) соответствующей категории размещения и минимальной степени защиты (табл. 3.7).

Таблица 3.7

Минимальная степень защиты оболочек электротехнических изделий и оборудования для сельскохозяйственных помещений, зданий и сооружений (при отсутствии дополнительных ограничений по пожаро- или взрывобезопасности) [47]

Наименование помещений, зданий и сооружений	Климатическое исполнение	Степень защиты оболочек	
		для пускорегулирующей аппаратуры и комплектных устройств управления	для светотехнических изделий
1	2	3	4
Инкубатории, котельные, гаражи, отапливаемые склады	У3, УХЛ4	IP23, IP30	IP20, IP21, IP31
Подсобные помещения, мастерские, насосные станции	У3	IP31	IP32
Цехи по переработке продуктов животноводства	У3, У2	IP44	IP32, IP43, IP53
Помещения для теплогенераторов	У3, У2	IP44	IP32, IP43, IP53
Цехи по переработке плодов и овощей	У3, У2	IP44	IP32, IP43, IP53
Кормоприготовительные цехи влажных кормов	У5	IP54	IP53, IP54
Доильные залы, молочные отделения	У5	IP54	IP53, IP54
Силосные и сенажные башни	У1, У2	IP54	IP53, IP54
Установки под навесом	У1, У2	IP54	IP53, IP54
Овощехранилища, фруктохранилища	У3, У2, У1	IP54	IP32, IP43, IP53

1	2	3	4
Неотапливаемые подсобные помещения	У1, У2, У5	IP54	IP53, IP54
Моечные отделения по переработке плодов и овощей	У5	IP54	IP53, IP54
Парники и теплицы	У5	IP54	IP53, IP54
Помещения с агрессивной средой: животноводческие и птицеводческие	У5	IP54	IP54
Склады минеральных удобрений	У5	IP54	IP54
Помещения для протравливания семян	У5	IP54	IP54
Пункты послеуборочной обработки зерна и технических культур	У3	IP54	IP51, IP61
Сараи, не отапливаемые склады	У1, У2	IP54	IP23, IP53

Допустимые степени защиты светильников для взрывоопасных и пожароопасных помещений и зон приведены в табл. 3.8...3.10. Необходимые уровни взрывобезопасности в основном обеспечиваются применением взрывозащищенных светильников, например, типов ЛСП03Ех, ЛПП05Ех, РСР11Ех, РСР18Ех, РСР21Ех, ГСП11Ех, ГВП142Ех, ЖСП11Ех, ЖСП21Ех и др.

Для освещения низких вспомогательных помещений, как правило, применяют светильники НПП03, НПП05, РПП01, ГПП01, ЖПП01, ЖСП20, ЛСП18, ЛСП23 и др.; в производственных помещениях: с нормальными условиями окружающей среды – РСР05, РСР08, РСР13, ЛСП02, ЛСП13 и др., с повышенным содержанием пыли и повышенной относительной влажностью – НСП02 и НСП03 и др., в пыльных и влажных – РСР12 и РСР14 и др., с нетокопроводящей и негорючей пылью при запыленности до $10 \text{ мг} \cdot \text{м}^3$ – НСП21 и НСП22 и др., с тяжелыми условиями окружающей среды – ЛСП18, НСП17, РСР21 и др.

Экономическую целесообразность принимаемого решения следует учитывать не только при выборе светильников, но и на любой стадии проектирования осветительной установки путем сопоставления технико-экономических показателей сравниваемых равноценных по светотехническим показателям вариантов. При этом не следует делать преждевременных выводов о более или менее экономичных светильниках вообще, а следует говорить только о предпочтительных для данных конкретных условий.

От правильного выбора светильника зависят экономичность, работоспособность, безопасность и надежность действия осветительной установки. Это творческий процесс, и он требует от проектировщика особых навыков, определенных знаний и опыта.

3.3.5. Размещение светильников в освещаемом пространстве

Принятая система общего освещения определяет и способ размещения светильников: равномерное или локализованное [1, 2, 9, 13, 15]. При равномерном размещении светильники с круглосимметричным светораспределением (с лампами накаливания, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, КЛЛ и светодiodными) распределяют по углам прямоугольника (в идеале – квадрата) или вершинам ромба с учетом доступа к ним для обслуживания во время эксплуатации (рис. 3.8). При размещении светильников по углам прямоугольника должно быть соблюдено условие – отношение большей стороны прямоугольника к меньшей $\leq 1,5$, а при размещении по вершинам ромба – острый угол ромба близок к 60° .

Таблица 3.8

Минимально допустимые степени защиты оболочек электротехнического оборудования и изделий в зависимости от класса пожароопасной зоны [7, 47].

Вид установки и условия работы	Степень защиты для пожароопасной зоны класса			
	П-I	П-II	П-IIa	П-III
1	2	3	4	5
Установленные стационарно или на передвижных механизмах и установках, искрящие по условиям работы	IP44	IP54	IP44	IP44

1	2	3	4	5
Установленные стационарно или на передвижных механизмах и установках, не искрящие по условиям работы	IP44	IP44	IP44	IP44
Шкафы для размещения аппаратов и приборов	IP44	IP54, IP44	IP44	IP44
Коробки сборок зажимов силовых и вторичных цепей	IP44	IP44	IP44	IP44

Примечание. Для пожароопасной зоны класса П-П при установке в шкафы аппаратов и приборов, искрящих по условиям работы, минимально допустимая степень защиты – IP54 (до освоения промышленностью шкафов со степенью защиты оболочки IP54 допускается применять шкафы со степенью защиты IP44), не искрящих по условиям работы – IP44.

Таблица 3.9

Допустимая степень защиты светотехнического и электротехнического оборудования и изделий в зависимости от класса взрывоопасной зоны [7, 47].

Класс взрывоопасной зоны	Уровень взрывозащиты или степень защиты
Стационарные установки	
В-I	Взрывобезопасная, особо взрывобезопасная
В-Ia, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва – для аппаратов и приборов, искрящих или подверженных нагреву выше 80 °С. Без средств взрывозащиты – для аппаратов и приборов, не искрящих и не подверженных нагреву выше 80 °С. Оболочка со степенью защиты не менее IP54
В-Iб	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP44
Класс взрывоопасной зоны	Уровень взрывозащиты или степень защиты
В-II	Взрывобезопасная, особо взрывобезопасная
В-IIa	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP54

Класс взрывоопасной зоны	Уровень взрывозащиты или степень защиты
Установки передвижные (или являющиеся частью передвижных) и переносные	
В-I, В-Ia	Взрывобезопасная, особо взрывобезопасная
В-Iб, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-II	Взрывобезопасная, особо взрывобезопасная
В-IIa	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP54

Таблица 3.10

Допустимые степени защиты оболочек светотехнических оборудования и изделий в зависимости от класса пожароопасной зоны [7, 47]

Источник света в светильнике	Степень защиты светильников для пожароопасной зоны класса			
	П-I и П-II	П-IIa, а также П-II при наличии общеобменной вентиляции и местных нижних отсосов отходов	П-IIa в складских помещениях с ценными материалами, горючими или в горючей упаковке	П-III
Стационарные светильники				
Лампы накаливания	IP5X	2'X ¹	2'X	2'3
Люминесцентные лампы	5'X	IP2X ²	IP2X ^{2,3}	IP22 ²
ДРЛ, ДРИ и ДНаТ	IP5X	IP2X ⁴	IP2X ⁴	IP22 ⁴
Переносные светильники				
Все виды ламп	IP54	IP54	IP54	IP54

Примечания:

¹ При наличии сплошного колпака из силикатного стекла.

² При выполнении ввода в светильник проводниками с негорючей оболочкой или в стальной трубе.

³ Применение светильников с отражателями и рассеивателями из горючих материалов запрещено.

⁴ При наличии металлической сетки или иного приспособления, препятствующего выпадению лампы.

В любом варианте размещения (углы прямоугольника или квадрата, вершины ромба) расстояния между светильниками в ряду L_A и между рядами светильников L_B могут быть определены по формуле

$$L_{A,B} = \lambda_C H_p, \quad (3.13)$$

где λ_C – светотехнически наивыгоднейшее относительное расстояние между светильниками (табл. 3.11);

H_p – расчетная высота установки светильников, м.

Светотехнически наивыгоднейшее относительное расстояние λ_C определяет отношение расстояния между светильниками к расчетной высоте их установки. Оно обеспечивает такое размещение светильников, при котором распределение освещенности на рабочей поверхности наиболее равномерное. Увеличение λ_C сверх рекомендуемого значения ухудшает равномерность освещения рабочих поверхностей, но уменьшает установленную мощность источников света. При $\lambda_C = \lambda_Э$ ($\lambda_Э$ – энергетически наивыгоднейшее относительное расстояние между светильниками) мощность источников света осветительной установки минимальная, а ее энергетическая эффективность максимальная. Увеличение относительного расстояния между светильниками сверх $\lambda_Э$ не только ухудшает равномерность распределения освещенности, но и повышает мощность источников света и осветительной установки.

При определении расчетной высоты установки светильников H_p следует обратить внимание на обеспечение доступа к ним (лестницы, технологические площадки, краны и др.) для обслуживания и способы монтажа (свес, трос, короб и др.). Поскольку высота помещения H_0 и рабочей поверхности h_p – исходные параметры, то расчетная высота установки светильников H_p может изменяться только за счет высоты свеса светильников h_C , включая расстояние от точки подвеса светильника до пола.

Расчетную высоту установки светильников определяют по формуле

$$H_p = H_0 - h_C - h_p, \quad (3.14)$$

где H_0 – высота помещения (или расстояние от точки подвеса светильника до пола), м;

h_c – высота свеса светильников (расстояние от их светового центра до перекрытия или точки подвеса), м;

h_p – высота расчетной (на которой нормируется освещение) поверхности над полом, м (рис. 3.8, а).

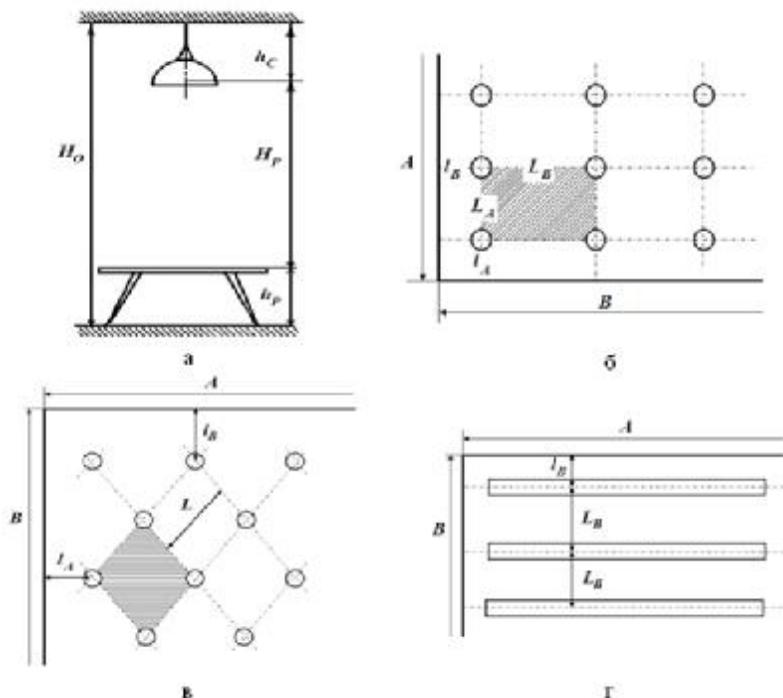


Рис. 3.8. Варианты размещения светильников:

а – в разрезе; б, в, г – в плане помещения; б – по углам прямоугольников; в – по вершинам ромба; г – в линию (для светильников с люминесцентными лампами)

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных (с точки зрения опасности поражения электрическим током) высота установки светильников над полом, за исключением светильников с люминесцентными лампами, должна быть не менее 2,5 м. В отдельных случаях допускается высота установки светильников менее 2,5 м, но с условием, что конструкция светильников исключает возможность доступа к источнику света без специального инструмента и ввод электропроводки осуществлен в трубах, металлорукавах

или оболочках кабелей и защищенных проводов. Указанное требование не распространяется на электропомещения, а также осветительные установки, обслуживаемые с кранов или площадок квалифицированным персоналом. Если указанное требование не выполняется и светильники установлены в помещениях с повышенной опасностью или особо опасных на высоте менее 2,5 м, то значение подводимого к ним напряжения не должно превышать 50 В. Светильники с люминесцентными лампами на напряжение 230 В допускается устанавливать на высоте менее 2,5 м в любых помещениях при исключении возможностей соприкосновения с их токоведущими частями.

Таблица 3.11

Рекомендуемые значения λ_c и λ_o для светильников с типовыми кривыми силы света

Тип КСС	λ_c	λ_o
Концентрированная (К)	0,4...0,7	0,6...0,9
Глубокая (Г)	0,8...1,2	1,0...1,4
Косинусная (Д)	1,2...1,6	1,6...2,1
Равномерная (М)	1,8...2,6	2,6...3,4
Полуширокая (Л)	1,4...2,0	1,8...2,3

При равномерном размещении светильников по углам прямоугольника расстояние от стены до ближайшего ряда светильников l_B или до ближайшего светильника в ряду l_A принимают в пределах (0,3...0,5) $L_{A,B}$: при наличии рабочих поверхностей у стен $l_{A,B} \approx 0,3L_{A,B}$, а при отсутствии – $l_{A,B} \approx 0,5L_{A,B}$.

Тогда по известным значениям $l_{A,B}$ и $L_{A,B}$, длине A и ширине B помещения можно определить:

– число рядов светильников в помещении N_2 :

$$N_2 = (B - 2 l_{A,B}) / L_{A,B} + 1; \quad (3.15)$$

– число светильников в одном ряду N_1 :

$$N_1 = (A - 2 l_{A,B}) / L_{A,B} + 1; \quad (3.16)$$

– и, после округления N_1 и N_2 до ближайшего целого, их общее количество в помещении N_Σ :

$$N_{\Sigma} = N_1 N_2. \quad (3.17)$$

Если расчет расстояния между светильниками в ряду и их рядами производился с учетом светотехнически наивыгоднейшего относительного расстояния, то полученные значения N_1 и N_2 округляют до целого числа в сторону наибольшего значения. В случае же расчета по энергетически наивыгоднейшему относительному расстоянию N_1 и N_2 округляют до целого в сторону меньшего значения.

После определения количества светильников в помещении их размещают на плане помещения и определяют действительные расстояния от стены до ближайшего ряда l_B и ближайшего светильника в ряду l_A , расстояние между рядами L_B и светильниками в ряду L_A :

$$L_A = A / (N_1 - a) \text{ и } L_B = B / (N_2 - a), \quad (3.18)$$

где $a = 0,4$ при $l_{A,B} = 0,3L_{A,B}$ и $a = 0$ при $l_{A,B} = 0,5L_{A,B}$.

Определять действительные расстояния также следует с учетом разумных округлений так, чтобы полученные значения удобно было использовать во время монтажа осветительной установки.

Полученные значения L_A и L_B необходимо проверить на выполнение условия $1 \leq L_A / L_B \leq 1,5$ при $L_A > L_B$ или $1 \leq L_B / L_A \leq 1,5$ при $L_B > L_A$. Если условие не выполняется, то следует изменить значения l_A , l_B , L_A и L_B , учитывая производимые округления при расчетах.

Следует отметить, что при проектировании осветительных установок со светильниками с люминесцентными лампами первоначально намечают только число рядов светильников N_2 , а число светильников в ряду N_1 и в помещении N_{Σ} определяют в результате светотехнического расчета. При этом светотехнические λ_C и энергетические λ_{Σ} наивыгоднейшие относительные расстояния определяют по поперечной кривой силы света светильника.

При локализованном размещении места расположения светильников выбирают в каждом конкретном случае индивидуально для каждого светильника в зависимости от требований к освещенности отдельных зон помещения. При этом светильники устанавливают с учетом оптимального освещения рабочих мест, предотвращения

их затенения громоздкими предметами и обеспечения требуемых уровней освещенности в технологических проходах. При этом освещенность проходов должна составлять не менее 25 % от нормируемой освещенности, создаваемой светильниками общего освещения на рабочих местах, но не менее 75 лк при газоразрядных лампах и не менее 30 лк при лампах накаливания.

3.4. Светотехнический расчет осветительных установок помещений зданий и сооружений

Светотехнический расчет осветительной установки со светильниками круглосимметричного светораспределения ставит своей целью определение установленной мощности источников, при которой гарантируется обеспечение нормируемой освещенности, а со светильниками с люминесцентными лампами – определение количества светильников в одном ряду и (или) их общего количества в помещении. Иногда возникает необходимость в проверочном расчете – определении освещенности на рабочих поверхностях при известной установленной мощности источников.

Светотехнические расчеты в значительной мере унифицированы и обеспечены необходимыми справочными материалами. В практике проектирования общего электрического освещения помещений наиболее распространены следующие методы расчета: **точечный**, подразделяемый, в зависимости от вида светораспределения светильников, на *методы пространственных* (круглосимметричного светораспределения с лампами накаливания, светодиодными, КЛЛ, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ) и *линейных* (люминесцентные и светодиодные трубчатые лампы) *изолукс*; **коэффициента использования светового потока**; **удельной мощности**.

В основу **точечного метода расчета** положены приведенные ранее формулы определения освещенности точки A поверхности при известных значениях силы света светильников в направлении заданной точки и расстояний от точки до светильников (1.11 и 1.12), которые при n -ном количестве светильников, освещающих данную точку могут быть представлены в следующем виде:

$$E_A = \sum_{i=1}^n I_{\alpha_i} \cdot \cos \beta_i / l_i^2 \quad \text{или} \quad E_A = \sum_{i=1}^n I_{\alpha_i} \cdot \cos^3 \alpha_i / H_{p_i}^2, \quad (3.19)$$

где I_{α_i} – значение силы света от i -го светильника в направлении освещаемой точки, определяемое по КСС, кд;

β_i – угол между нормалью к точке освещаемой поверхности и направлением силы (рис. 1.4), град;

l_i – расстояние от источника света до освещаемой точки, м;

α_i – угол между осью симметрии светильника и линией, соединяющей его световой центр с освещаемой точкой, град;

H_{p_i} – расчетная высота подвеса светильника над горизонтальной плоскостью с освещаемой точкой, м.

Отметим, что по формулам (3.19) можно рассчитать любую осветительную установку при известных значениях КСС принятых для ее изготовления светильников, в том числе и с не круглосимметричным светораспределением.

Точечный метод применяют при расчете освещения: общего равномерного и локализованного, местного, вертикальных и наклоненных к горизонту плоскостей, наружного. Он позволяет определить световой поток источников, необходимый для создания требуемой освещенности в любой точке произвольно расположенной плоскости при известном размещении светильников и условии, что отраженный от стен, потолка и рабочей поверхности световой поток не создает существенной освещенности в рассматриваемой точке.

При определении освещенности точки поверхности можно воспользоваться реальным значением силы света светильника в заданном направлении или определить ее по типовой КСС, характерной для рассматриваемого светильника (последнее дает менее точные расчеты, так как реальное распределение силы света светильника в допустимых пределах несколько отличается от типового).

При использовании типовой КСС следует помнить, что она приведена в предположении того, что световой поток условной лампы, установленной в светильник, равен 1000 лм. Следовательно, при определении освещенности точки поверхности по типовой КСС мы получим не действительную освещенность E_A , а условную e_A . Действительная освещенность E_A и условная освещенность e_A точки A связаны соотношением:

$$E_A = e_A \Phi_{\text{л}} / 1000, \quad (3.20)$$

где $\Phi_{\text{л}}$ – фактический световой поток установленной в светильник лампы, лм.

Расчет точечным методом при известных значениях КСС светильников осуществляют в следующей последовательности [13]:

– при известных параметрах размещения светильников в помещении и точке на рабочей поверхности A , в которой нормируется освещенность, для каждого светильника освещающего точку определяют тангенс угла падения светового луча на расчетную точку $\text{tg } \alpha$:

$$\text{tg } \alpha = d / h, \quad (3.21)$$

где h – расчетная высота подвеса светильника над рабочей поверхностью H_p (рис. 3.8);

d – кратчайшее расстояние между точкой A и точкой проекции светового центра светильника на горизонтальную плоскость, на которой расположена точка A (рис. 1.4);

– по найденному значению $\text{tg } \alpha$ определяют угол α , $\cos \alpha$ и $\cos^3 \alpha$;

– по КСС светильника с условной лампой со световым потоком в 1000 лм для найденного угла определяется сила света I_a и рассчитывается расчетная освещенность E_A (3.19);

– далее определяется световой поток источников Φ_p , обеспечивающих требуемую освещенность:

$$\Phi_p = (1000 E_{\text{min}} K_3) / \eta_{\text{л}} \mu \sum E_A, \quad (3.22)$$

и по значению Φ_p принимается лампа стандартной мощности и светового потока $\Phi_{\text{л}}$, значение которого отличается от Φ_p не более чем на $-10...+20$ %.

В формуле 3.22: E_{min} – нормированное значение освещенности рабочей поверхности, лк; K_3 – коэффициент запаса; μ – коэффициент добавочной освещенности, учитывающий воздействие «удаленных» светильников и отраженных световых потоков на освещаемую поверхность; $\eta_{\text{л}}$ – коэффициент полезного действия (КПД) светильника в нижнюю полусферу в относительных единицах (учитывается только при определении E_A по КСС светильников, КПД которых в нижнюю полусферу равен 100 %).

Для вычисления освещенности E_A по формулам 3.19 приходится постоянно, исходя из геометрических соображений, отыскивать кратчайшего расстояния d между точкой A и точкой проекции светового центра светильника на горизонтальную плоскость, на которой расположена точка A , угол β (или α) и расстояние l , что требует дополнительных расчетов.

С целью упрощения расчетов для светильников с круглосимметричным светораспределением разработаны справочные пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности, создаваемой светильниками с типовыми КСС (приложение 17). По справочным значениям пространственных изолюкс условной горизонтальной освещенности e_A по известным H_p и d находится точка, определяющая значение условной освещенности e_A . Поскольку эта точка на графике лежит чаще всего между изолюксами условной горизонтальной освещенности, а не на изолюксе, то значение условной освещенности e_A , как правило, определяется путем линейного интерполирования. Если же значения d и H_p выходят за пределы координат кривых пространственных изолюкс условной горизонтальной освещенности, то можно обе эти координаты увеличить (уменьшить) в n раз так, чтобы точка оказалась в пределах графика, а определенное по графику значение e_A увеличить (уменьшить) в n^2 раз. Значение d определяют обмером по масштабному плану осветительной установки с нанесенными на него местами расположения светильников. Если контрольная точка A на горизонтальной поверхности освещается одновременно несколькими светильниками, то ее освещенность будет равна сумме освещенностей $\sum e$, создаваемых каждым светильником в отдельности.

Из-за использования кривых пространственных изолюкс условной горизонтальной освещенности точечный метод расчета в применении к осветительным установкам со светильниками с круглосимметричным светораспределением называют **методом пространственных изолюкс**.

Расчет осветительной установки методом пространственных изолюкс основан на определении требуемого светового потока установленного в светильники источника Φ_p , обеспечивающего нормируемую освещенность в рассматриваемой точке:

$$\Phi_p = (1000 E_{\min} K_3) / (\eta_{\cup} \mu \sum e) \quad (3.23)$$

где E_{\min} – нормированное значение освещенности рабочей поверхности, лк;

K_3 – коэффициент запаса;

μ – коэффициент добавочной освещенности, учитывающий действие «удаленных» светильников и отраженных световых потоков на освещаемую поверхность (принимается равным 1,1...1,2);

η_{\cup} – коэффициент полезного действия (КПД) светильника в нижнюю полусферу в относительных единицах (учитывается только при определении $\sum e$ по пространственным изолюксам условной для типовых КСС светильников);

$\sum e$ – сумма условных освещенностей, создаваемых каждым из близлежащих светильников осветительной установки⁴².

По полученному значению расчетного потока Φ_p подбирается ближайшая стандартная лампа, световой поток которой $\Phi_{\text{л}}$ отличается от расчетного в пределах $-10...+20\%$, то есть

$$0,9\Phi_p \leq \Phi_{\text{л}} \leq 1,2\Phi_p. \quad (3.24)$$

При невозможности выбора лампы с указанным допуском корректируется расположение светильников и осуществляется перерасчет Φ_p для условия изменившегося размещения светильников.

При выборе ламп накаливания необходимо стремиться, чтобы их мощность по возможности совпадала с допустимой номинальной для данного светильника. Например, если принят светильник типа НСП21, а в результате светотехнического расчета получили мощность лампы, равную 100 Вт, то в процессе уточнения типа желательнее принять светильник НСП21-100..., а не НСП21-200.... В противном случае можно получить отличающиеся от расчетных значений освещенности из-за изменения КПД и КСС светильника при установке ламп меньшей мощности. В то же время нельзя устанавливать в светильники лампы накаливания большей мощности (хотя это иногда возможно), так как это может привести к перегреву лампы и элементов светильника во время эксплуатации, что повлечет их преждевременный выход из строя. Для газоразрядных ламп высокого давления (ДРЛ, ДРИ и ДНаТ) вообще нельзя принимать

⁴² Значения η_{\cup} приведены в приложении 10.

мощность лампы, отличающуюся от номинальной для данного светильника, так как установленная в светильник пускорегулирующая аппаратура не обеспечит требуемые эксплуатационные режимы работы лампы.

При использовании точечного метода недостаточно ясным и обоснованным элементом расчета является выбор контрольных точек, в которых следует рассчитывать условную освещенность. ТКП 45-2.04-153–2009 и отраслевые нормы искусственного освещения требуют, чтобы освещенность в любой точке рабочей поверхности была не ниже допустимого минимального значения. Но расчет освещенности во всех точках рабочей поверхности, а и потом выбор точки с минимальным значением, потребуют значительных трудозатрат, даже при использовании компьютера с соответствующим программным обеспечением. Поэтому на практике, как правило, в качестве расчетных выбирают точки освещаемой поверхности, приведенные на рис. 3.9 для различных вариантов размещения светильников. В практике проектирования не принято выискивать точки абсолютного минимума у стен или в углах, так как если в подобных точках есть рабочие поверхности, то задача доведения в них освещенности до нормы может быть решена увеличением мощности источника в ближайших светильниках или установкой дополнительных светильников.

Также не просто определять, какие светильники следует относить к «ближайшим» и учитывать при определении $\sum e$. Поэтому при расчетах $\sum e$ учитывают только освещенность, создаваемую светильниками (группами светильников), отстоящими от расчетной точки по масштабному плану осветительной установки на расстоянии трех наименьших значений d из ряда расстояний расположения светильников от контрольной точки ($d_1, d_2, d_3, d_4, \dots$). На рис. 3.9 контрольные точки соединены линиями с теми светильниками, от которых обычно определяются значения $\sum e$. При определении $\sum e$ не должны учитываться светильники, реально не создающие освещенности в контрольной точке из-за ее затенения оборудованием или самим рабочим при его нормальном фиксированном положении у рабочего места.

Если нормы искусственного освещения устанавливают значение минимальной освещенности на наклонной (или вертикальной) поверхности, то ее освещенность определяют через освещенность

горизонтальной поверхности в рассматриваемой точке. Для расчета освещенности в точке C на наклонной поверхности E_H по значению ее освещенности на горизонтальной поверхности E_G используют формулу

$$E_H = E_G (\cos \Theta \pm p / H_p \sin \Theta). \quad (3.25)$$

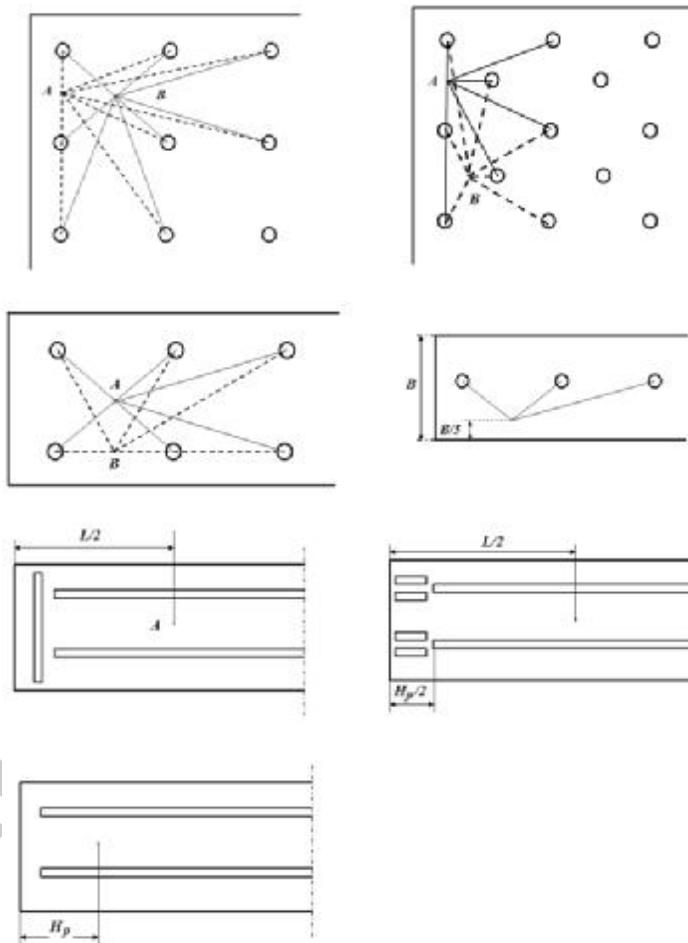


Рис. 3.9. К выбору расчетных точек для различных вариантов размещения светильников с лампами накаливания (а также светодиодными, КЛЛ, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ) и люминесцентными лампами

В формуле 3.25: p – кратчайшее расстояние от проекции оси симметрии светильника на горизонтальную плоскость, проходящую через точку расчета, до следа пересечения вертикальной и горизонтальной плоскостей (рис. 3.10); Θ – угол наклона расчетной плоскости по отношению к плоскости, перпендикулярной к оси симметрии светильника (горизонтальная плоскость).

Знак «минус» в формуле (3.25) ставят при условии $\Theta > \pi/2 + \alpha$. Если расчетная плоскость вертикальна, то $E_H = E_G p / H_p$ или, в частном случае, когда перпендикулярна проекции направления силы света на горизонтальную поверхность, $E_H = E_G d / H_p$.

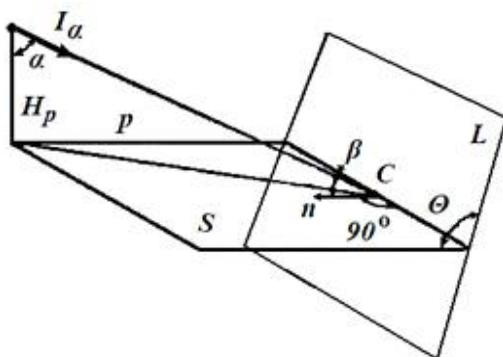


Рис. 3.10. К определению освещенности точки наклонной поверхности

Расчет осветительной установки с круглосимметричными излучателями точечным методом пространственных изолукс производится в следующем порядке:

- после размещения светильников на плане помещения намечают контрольные точки и вычисляют в них условную освещенность;
- по формуле (3.23) рассчитывают требуемое значение светового потока источника, и по расчетному значению светового потока с учетом требований (3.24) выбирают ближайшую стандартную лампу (см. приложения 2, 6 и 7) и определяют ее мощность;
- подсчитывают суммарную мощность ламп в осветительной установке.

Точечный метод является самым точным методом расчета осветительных установок. При его применении погрешность расчетов минимальная, поэтому он может быть использован для проверочных

расчетов при известных расположении светильников в освещаемом помещении и установленной в них мощности источников. Проверочный расчет производят по формуле (3.23), преобразованной под определение истинной освещенности расчетной точки:

$$E_A = (n_c \Phi_{л\mu} \sum e) / (1000 K_3), \quad (3.26)$$

где n_c – число ламп в светильнике, шт.

Точечный метод расчета относительно трудоемок, поэтому и применяется не часто (в основном для ответственных и проверочных расчетов, а также тогда, когда другие методы применить невозможно, например, в случае локализованного освещения и освещения наклонных поверхностей).

Точечный метод применительно к установкам с люминесцентными лампами называют **методом линейных изолюкс**. Он имеет некоторые отличительные особенности в сопоставлении с методом пространственных изолюкс.

Во-первых, по методу линейных изолюкс производят расчет только осветительных установок, выполненных светильниками (или светильниками, состыкованными в светящуюся линию с расстоянием между ними менее половины расчетной высоты подвеса H_p), длина которых превышает половину расчетной высоты подвеса. Если длина светильников с люминесцентными лампами не превышает половину расчетной высоты подвеса H_p , то их можно принять за точечные и расчет осветительной установки производить не методом линейных изолюкс, а другими методами, например, коэффициента использования светового потока или удельной мощности.

Во-вторых, при расчете освещения от люминесцентных ламп известными величинами являются мощность, число и световой поток ламп в светильнике, а также число рядов светильников. Незвестные величины, подлежащие определению, – число светильников в освещаемом помещении и в одном ряду.

Излучатели в методе линейных изолюкс рассматриваются как светящиеся линии с линейной плотностью светового потока источников Φ' , лм · м⁻¹. Линейная плотность светового потока Φ' определяется делением суммарного светового потока ламп в линии Φ_Σ на длину линии L . Линии с равномерно распределенными по длине

разрывами l_p между светильниками рассматриваются как непрерывные при соблюдении условия $l_p < 0,5H_p$. В этом случае под L понимается габаритная длина линии, а линейная плотность светового потока определяется как

$$\Phi' = \Phi_{\Sigma} / (\sum l_p + \sum l_c), \quad (3.27)$$

где Φ_{Σ} – суммарный световой поток ламп в сплошном элементе светящейся линии длиной $\sum l_c$, лм:

$\sum l_p$ – суммарная длина разрывов в светящейся линии, м;
 $\sum l_c$ – суммарная длина светильников в светящейся линии, м.

При $l_p > 0,5H_p$ необходимо для каждого сплошного участка линии отдельно определять Φ' и создаваемую этим участком освещенность в контрольной точке рабочей поверхности.

При заданных характеристиках светящейся линии освещенность точки зависит от трех параметров: расчетной высоты подвеса H_p , длины линии L и кратчайшего расстояния p от контрольной точки A до проекции светящейся линии на горизонтальную поверхность с рассматриваемой точкой A .

Для облегчения расчетов по методу линейных изолюкс получены справочные кривые изолюкс (приложение 18), позволяющие при известных значениях H_p , L и p определить условную освещенность e в контрольной точке рабочей поверхности с учетом допущений о том, что рассматриваемая точка расположена против конца светящейся линии, условная линейная плотность светового потока которой $\Phi' = 1000 \text{ лм} \cdot \text{м}^{-1}$, а $H_p = 1 \text{ м}$. Освещенность других точек определяется путем разделения светящейся линии на части или дополнения их воображаемыми отрезками, освещенность из которых затем суммируется или вычитается (рис. 3.11).

При расчете по кривым линейных изолюкс по плану размещения рядов светильников в помещении обмеряют размеры p и L , определяют отношение $p' = p/H_p$ и $L' = L/H_p$ и находят значение условной освещенности e при координатах p' и L' путем интерполирования между ближайшими линейными изолюксами. Линии, для которых $L' > 4$, при расчетах практически рассматриваются как неограниченно длинные, и значение условной освещенности находят для $L' = 4$.

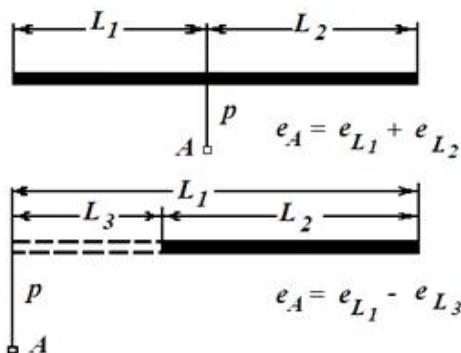


Рис. 3.11. К определению условной освещенности в точке, не лежащей против конца светящейся линии

Суммирование значений e от ближайших рядов или их частей, освещающих точку, дает $\sum e$. Необходимая линейная плотность светового потока определяется как

$$\Phi' = (1000 E_{\min} K_3 H_p) / (\mu \sum e). \quad (3.28)$$

По известному значению Φ' осуществляется компоновка линии. Для этого вначале определяется необходимый световой поток ламп в линии как произведение $\Phi' \cdot L$, а затем – количество светильников в ряду N_1 :

$$N_1 = (\Phi' L) / (n_c \Phi_{\text{л}}). \quad (3.29)$$

Значение N_1 округляют в сторону увеличения и определяют действительные расстояния между светильниками l_p (с учетом протяженности ряда, N_1 и l_c) и суммарное количество светильников в помещении N_{Σ} (3.17).

При выборе контрольных точек следует учесть, что в случае большой длины светящейся линии, начиная примерно от $2H_p$, сильно сказывается уменьшение освещенности у их концов (приблизительно вдвое по сравнению с освещенностью центральных участков). Для компенсации уменьшения освещенности достаточно продлить линию на $0,5H_p$ за пределы освещаемой поверхности или на расстоянии $0,5H_p$, или в конце светящейся линии обеспечить двойное значение Φ' (удвоить расчетное количество ламп в светильниках или светильников), или дополнить продольные ряды

светильников замыкающими их поперечными. В случае принятия одной из этих мер при общем равномерном освещении контрольные точки, как правило, выбираются посередине между рядами светильников и линий (см. рис. 3.9).

При общем освещении больших помещений часто указанных компенсаций не предусматривается в предположении, что непосредственно у торцевых стен работы не производятся. В этом случае ряды светильников доводятся до торцевых стен и контрольные точки выбираются на расстоянии примерно H_p от конца ряда (рис. 3.9).

Метод линейных изолукс также применяют для проверочных расчетов при определении фактической освещенности рабочей поверхности и сравнении ее с нормированным значением. При проверочных расчетах формула (3.28) преобразуется в виде:

$$E_A = (N_1 n_c \Phi_{л \mu} \sum e) / (1000 K_3 H_p L). \quad (3.30)$$

Метод коэффициента использования светового потока осветительной установки применяют при расчете общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей в помещении при отсутствии крупных затеняющих предметов и с учетом отраженных от стен и потолка световых потоков. Метод не пригоден для расчета локализованного и местного освещения, освещения наклонных поверхностей и в случае, когда для отдельных участков освещаемой площади или рабочих мест часть установленных в помещении светильников затеняется производственным оборудованием или другими предметами.

Метод коэффициента использования светового потока учитывает только ту часть светового потока источников осветительной установки, которая достигает рабочей поверхности. Основная расчетная формула метода:

$$\Phi_p = (E_{\min} K_3 S z) / (n_c N_{\Sigma} \eta), \quad (3.31)$$

где Φ_p – расчетный световой поток лампы осветительной установки, лм;

E_{\min} – нормируемая освещенность, лк;

K_3 – коэффициент запаса;

S – площадь освещаемого помещения, м²;

z – коэффициент минимальной освещенности (отношение средней освещенности к минимальной);

n_c – число ламп в светильнике, шт.;

N_Σ – общее число светильников в помещении, шт.;

η – коэффициент использования светового потока в долях единицы.

Этой формулой пользуются для расчета освещения светильниками с круглосимметричным светораспределением (лампами накаливания, светодиодными, КЛЛ, ДРИ, ДНаТ и ДРЛ), когда в результате размещения светильников в освещаемом пространстве известно их число, но не известна мощность установленных в них источников.

Поэтому, определив расчетный световой поток Φ_p и сопоставив его с нормированными значениями световых потоков выпускаемых промышленностью ламп, находим тип и мощность лампы. При этом необходимо учесть, что световой поток выбранной лампы не должен отличаться от расчетного в пределах $-10 \dots +20 \%$, то есть соответствовать условию (3.24). Если невозможно выбрать лампу, отвечающую этому условию, то изменяют число светильников в освещаемом помещении с таким расчетом, чтобы расстояние между ними незначительно отличалось от светотехнически наивыгоднейшего $\lambda_c \cdot H_p$.

Неизвестными величинами в формуле (3.31) являются коэффициент использования светового потока η и коэффициент минимальной освещенности z . Значение коэффициента использования светового потока η определяют по справочным таблицам (приложение 19).

В справочных таблицах коэффициент использования светового потока приводится в зависимости от характера светораспределения светильников (класса светораспределения и формы КСС), коэффициентов отражения потолка ρ_p , стен ρ_c и рабочей поверхности ρ_r (табл. 3.12), площади и формы освещаемого помещения, расчетной высоты подвеса светильников.

Площадь и форма освещаемого помещения, а также расчетная высота подвеса светильников H_p учитываются индексом помещения, который определяется по формуле

$$i = (A \cdot B) / [H_p(A + B)], \quad (3.32)$$

где A и B – соответственно длина и ширина освещаемого помещения, м.

Рекомендуемые значения коэффициентов отражения

Отражающая поверхность	Коэффициент отражения, %
Побеленный потолок и стены с окнами, закрытыми белыми шторами	70
Побеленные стены при незавешенных окнах и потолок в серых 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 потолок в помещениях с большим количеством темной пыли; сплошное остекление без штор; красный кирпич не оштукатуренный; стены с темными обоями	10

В справочных таблицах приложения 19 коэффициент использования светового потока η приведен для любых светильников, которые имеют одну и ту же КСС. Для приведения его к расчетному значению следует воспользоваться формулой:

$$\eta = \eta_1 \eta_{\cup} + K_{п.р.} \text{ (или } K'_{п.р.}) \eta_{\cap}, \quad (3.33)$$

где η_1 – коэффициент использования светового потока осветительной установки, направленного в нижнюю полусферу, отн. ед.;

η_{\cup} и η_{\cap} – КПД светильника в нижнюю и верхнюю полусферы, отн. ед.;

$K_{п.р.}$ и $K'_{п.р.}$ – усредненные зональные множители для светового потока осветительной установки, направленного в верхнюю полусферу, соответственно, для потолочных и подвесных светильников.

Вклад КПД светильника в верхнюю полусферу (вторая составляющая формулы (3.33)) в значение коэффициента использования светового потока η не существенен влияет на результат, поэтому его значение не всегда учитывают.

Укажем так же, что в справочной литературе существуют таблицы и со значениями коэффициентов использования светового потока η для конкретных светильников или групп светильников. Они приводятся, как правило, с учетом КПД светильника в верхнюю и нижнюю полусферы и в расчет по формуле (3.31) принимаются без каких-либо пересчетов.

Анализ приведенных в таблицах значений коэффициента использования светового потока позволяет сделать заключение – η возрастает при: повышении КПД светильника, особенно в нижнюю полусферу; увеличении площади освещаемого помещения; увеличении коэффициентов отражения поверхностей стен, потолка и рабочей поверхности; приближении формы помещения к квадрату; сужении формы КСС; уменьшении расчетной высоты подвеса светильников.

Коэффициент минимальной освещенности z вводится для того, чтобы обеспечивать освещенность в любой точке рабочей поверхности не ниже нормируемой. При расчете освещения от светильников с лампами накаливания, светодиодными, КЛЛ, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ z принимают равным 1,15, с люминесцентными лампами $z = 1,1$, а для всех светильников отраженного света $z = 1,0$.

Порядок расчета по методу коэффициента использования светового потока следующий:

- 1) проверяют применимость метода;
- 2) определяют коэффициенты отражения потолка ρ_p , стен ρ_c и рабочей поверхности ρ_r и индекс помещения i ;
- 3) определяют коэффициент использования светового потока η и вычисляют требуемый световой поток источника света;
- 4) подбирают по таблице выпускаемых промышленностью ламп ближайшую по световому потоку с учетом ограничений (3.24);
- 5) подсчитывают суммарную установленную мощность осветительной установки.

При расчете осветительных установок с линейными источниками излучения (люминесцентными лампами) после выбора светильника и типа источника света известными величинами являются мощность, количество и световой поток ламп, а после предварительного размещения светильников – число рядов светильников. Поэтому пп. 3 и 4 порядка расчета видоизменяются:

- 3) определяют коэффициент использования светового потока η и вычисляют число светильников в освещаемом помещении;

4) определяют число светильников в одном ряду и расстояние между светильниками.

Количество светильников в помещении N_{Σ} определяют по несколько видоизмененной формуле (3.31):

$$N_{\Sigma} = (E_{\min} K_3 S z) / (n_c \Phi_{\text{л}} \eta), \quad (3.34)$$

где $\Phi_{\text{л}}$ – световой поток лампы принятого типа и мощности, лм.

Далее количество светильников в помещении N_{Σ} округляют, как правило, в сторону увеличения, а его значение должно быть кратным количеству рядов N_2 . После чего определяют число светильников в ряду N_1 и расстояние между ними L_A :

$$N_1 = N_{\Sigma} / N_2, \quad (3.35)$$

$$L_A = (A - N_1 l_C - 2 l_A) / (N_1 - 1), \quad (3.36)$$

где N_2 – число рядов светильников в помещении, шт;

A – длина помещения, м;

l_C – длина светильника, м;

l_A – расстояние от крайнего светильника в ряду до стены, м.

Методом удельной мощности пользуются для приближенного расчета осветительных установок помещений, у которых отсутствуют существенные затенения рабочих поверхностей и к освещению которых не предъявляются особые требования, например, вспомогательные и складские помещения, кладовые, коридоры и т. п. Следует отметить, что данный метод является приближенным и применяется крайне редко.

В основу этого метода положены результаты многочисленных расчетов средних значений мощности источников, приходящихся на 1 м^2 освещаемой поверхности. На основе подобных результатов составлены справочные таблицы (приложения 20, 21 и 22), позволяющие при соответствии всех параметров осветительной установки паспортным данным таблиц определить необходимую удельную мощность источников ($p_{\text{уд}}$), которая обеспечивает требуемые условия освещения.

К паспортным данным таблиц удельной мощности при лампах накаливания относятся: тип светильников; нормируемая

освещенность; коэффициент запаса (при его значениях, отличных от указанных в таблицах, допускается пропорциональный пересчет значений удельной мощности); коэффициенты отражения поверхностей помещения (таблицы рассчитаны для коэффициентов отражения потолка $\rho_{\text{п}} = 50\%$, стен $\rho_{\text{с}} = 30\%$ и рабочей поверхности $\rho_{\text{р}} = 10\%$ (допускается при более светлых поверхностях уменьшать, а при более темных – увеличивать $p_{\text{уд}}$ на 10 %); напряжение питания источников света (для ламп накаливания – 220 В).

Для газоразрядных ламп высокого и низкого давления сохраняет силу все вышесказанное, но со следующими отличиями: таблицы приводятся только для освещенности 100 лк, так как в данном случае имеет место прямая пропорциональность между E_{min} и $p_{\text{уд}}$; таблицы составлены без учета напряжения сети, к которому подключают источники.

Порядок расчета по методу удельной мощности будет такой:

1. По расчетной высоте подвеса $H_{\text{р}}$ и площади освещаемого помещения S для выбранного типа светильника по справочной таблице определяют табличное значение удельной мощности источника $p'_{\text{уд}}$, которое затем корректируют для приведения в соответствие всех параметров осветительной установки паспортным данным таблиц.

После корректировки получается расчетное значение удельной мощности источников $p_{\text{уд}}$. Таким образом, при расчете осветительной установки с лампами накаливания имеем

$$p_{\text{уд}} = p'_{\text{уд}} K_1 K_2 K_3, \quad (3.37)$$

где K_1 – коэффициент приведения коэффициента запаса к табличному значению;

K_2 – коэффициент приведения коэффициентов отражения поверхностей помещения к табличному значению;

K_3 – коэффициент приведения напряжения питания источников к табличному значению.

Формула для корректировки расчетного значения удельной мощности газоразрядных источников высокого и низкого давления может быть представлена в виде

$$p_{\text{уд}} = p'_{\text{уд}} K_1 K_2 E_{\text{min}} / 100. \quad (3.38)$$

Для удлиненных помещений ($A > 2,5B$) табличную удельную мощность $p'_{уд}$ находят для условной площади $2B^2$.

2. Расчетную единичную мощность источника P_p определяют по формуле

$$P_p = (p_{уд} S) / (N_{\Sigma} n_c), \quad (3.39)$$

где n_c – число ламп в светильнике, шт.;

N_{Σ} – общее число светильников в помещении, шт.

3. По расчетной мощности лампы P_p с учетом шкалы мощностей выпускаемых промышленностью источников света выбирают подходящую лампу, исходя из требования

$$0,9P_p \leq P_{л} \leq 1,2P_p. \quad (3.40)$$

При расчете методом удельной мощности осветительной установки, выполненной светильниками с люминесцентными лампами, определяют общее число светильников в помещении N_{Σ} :

$$N_{\Sigma} = (p_{уд} S) / (P_{л} n_c). \quad (3.41)$$

После чего N_{Σ} округляют, как правило, в сторону увеличения с учетом кратности количеству рядов N_2 и определяют число светильников в ряду N_1 и расстояние между ними L_A (3.35 и 3.36).

При светотехническом расчете осветительной установки важно, чтобы она соответствовала требованиям ТКП 45-2.04-153–2009 не только по минимальным значениям освещенности рабочих поверхностей, но и по другим параметрам, в частности, регламентируемым качественным показателям: дискомфорта и ослепленности, коэффициента пульсации и цилиндрической освещенности.

3.5. Осветительные установки территорий, площадок, дорог и улиц

Искусственное освещение производственных территорий, строительных площадок, проезжей части дорог, улиц и других открытых пространств выполняется светильниками наружного освещения или прожекторами. Безусловных преимуществ ни один из них не имеет, поэтому при обосновании способа освещения в большинстве случаев необходимо руководствоваться показателями

целесообразности и технико-экономического сопоставления рассматриваемых вариантов.

Проектирование осветительных установок открытых пространств сводится к обоснованию выбора типов осветительных приборов, нахождению вариантов их оптимального размещения и определению необходимой мощности источников света, обеспечивающих требуемую нормированную освещенность (приложение 23).

3.5.1. Прожекторное освещение

При освещении открытых пространств большой площади и невозможности или нежелательности установки опор достаточно широкого распространение получили прожекторы, устанавливаемые, как правило, на специально сооружаемых мачтах. Из всего многообразия их типов и модификаций наиболее эффективны прожекторы с газоразрядными лампами высокого давления типов ДРИ, ДНаТ и ДРЛ. Если не учитывать требования к цветопередаче, то при обосновании выбора источника света прожектора исходят из размеров освещаемого пространства. При размерах до 150 м оптимальным источником является лампа высокого давления (ДРИ, ДНаТ или ДРЛ), до 300 м – лампы накаливания (прожекторные или галогенные) и более 300 м – ксеноновые лампы типов ДКсТ или ДКсТВ. Увеличение радиуса действия достигается применением прожектора с лампой накаливания и особенно специальных прожекторных ламп типа ПЖ. Применение прожектора с газоразрядной лампой высокого давления (ДРИ, ДНаТ или ДРЛ) позволяет получить более равномерное распределение освещенности по освещаемой поверхности.

Основными координатами, определяющими положение прожектора в пространстве, являются высота установки H_p , угол наклона Θ его оптической оси к горизонту и угол между проекцией оптической оси и условным направлением начала отсчета. Наименьшая высота установки прожектора по условиям максимального ограничения его слепящего действия определяется по формуле:

$$H_p \geq \sqrt{I_{\max} / M}, \quad (3.42)$$

где I_{\max} – осевая сила света прожектора, кд (табл. 3.13);

H_p – расчетная высота установки прожектора, м;

M – постоянная, зависящая от нормированной освещенности на объекте, кд · м⁻² (табл. 3.14).

При изменении угла наклона оптической оси прожектора значительно изменяются освещенность, форма и площадь светового пятна, им создаваемого. Угол наклона прожектора, при котором площадь светового пятна, ограниченная кривой одинаковой заданной освещенности – изолюксой, имеет максимальное значение при наименьшей установленной мощности источника, называют наивыгоднейшим. Его значения для прожекторов ПЗС-35 и ПЗС-45 в зависимости от произведения eH_p^2 приведены в табл. 3.15, где e – значение освещенности, соответствующее принятой изолюксе.

Расчет прожекторного освещения горизонтальных поверхностей, как правило, осуществляют *методом компоновки изолюкс*. Рабочей характеристикой прожектора в данном методе являются справочные значения изолюкс, создаваемые прожектором на условной плоскости, перпендикулярной оптической оси и удаленной от прожектора на 1 м (рис. 3.12). Для прожекторов с неодинаковым светораспределением вверх и вниз от оптической оси кривые изолюкс приводятся в двух квадрантах.

Таблица 3.13

Значение осевой силы света для прожекторов, эксплуатируемых в сельскохозяйственном производстве

Тип прожектора	Тип лампы	I_{\max} , ккд
ПЗС-45	ДРЛ-700	30
	ДРИ-700	600
ПЗС-35	Г220-500	50
ПЗМ-35	Г220-500	40
ПКН-1500-1	КГ220-1500	90
ПКН-1000-1	КГ220-1000	52
ПСМ-50-1	Г220-1000	120
	ДРЛ-700	52
ПСМ-50-2	ПЖ220-1000	640
ПСМ-40-1	Г220-500	70
ПСМ-40-2	ПЖ220-500	280
ПЗР-400	ДРЛ-400	19
ПЗР-250	ДРЛ-250	11
	Г220-1000	130

Таблица 3.14

К определению минимально допустимой высоты установки прожектора⁴³

Нормируемая освещенность, лк	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	10,0	30,0	50,0
M , кд · м ⁻²	100	150	250	300	400	700	2100	3500

Координаты расчетных точек $M(x,y)$ на горизонтальной плоскости и $m(\xi,\eta)$ на условной плоскости и их освещенности e и ε связаны соотношениями (рис. 3.13):

$$y = \eta \rho H_p \text{ и } \varepsilon = e \rho^3 H_p^2. \quad (3.43)$$

Координаты, так же как и входящие в формулу значения вспомогательных коэффициентов ρ и ρ^3 , определяют с помощью справочных данных (приложение 24). При этом если для принятого типа прожектора изолюксы на условной плоскости приведены в двух квадрантах, то значения, не выделенные цветом ячеек, относятся к нижнему квадранту.

Таблица 3.15

Значения наивыгоднейших углов наклона оптической оси прожекторов,

соответствующие произведению eH_p^2

Тип прожектора	Мощность и номинальное напряжение лампы	Наивыгоднейшие углы наклона оптической оси, град.							
		8	10	12	15	18	21	24	27
		Значения произведения eH_p^2 , лк·м ²							
ПЗС-45	1000 Вт, 200 В	150	200	260	430	600	1000	1800	3000
	
ПЗС-35	500 Вт, 220 В	75	120	180	300	420	680	900	1400
	
		120	180	300	420	680	900	1400	2000

⁴³ При совпадении направлений осевых сил света нескольких прожекторов допустимые значения M каждого прожектора определяются путем деления табличного значения на число прожекторов.

Для проведения расчетов изготавливают шаблоны с кривыми изолюкс, которые накладывают друг на друга, добиваясь полного равномерного без пропусков перекрытия всей освещаемой площади и избегая излишнего перекрытия одних световых пятен другими.

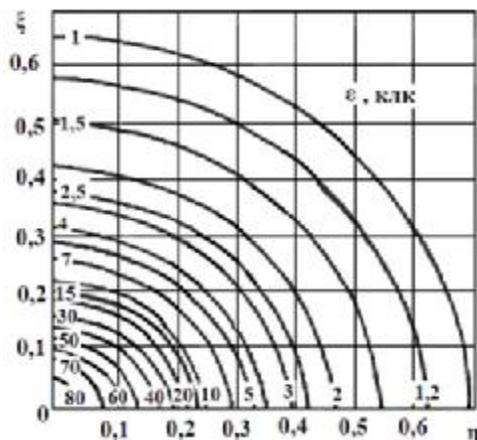


Рис. 3.12. Изолюксы на условной плоскости для прожектора ПЗС-45 с лампой Г215-225-1000

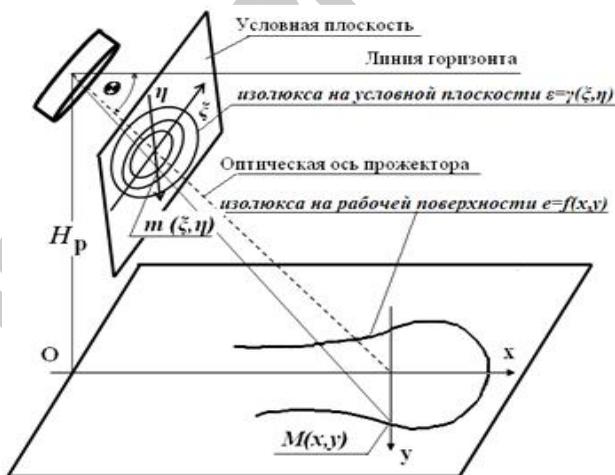


Рис. 3.13. Иллюстрация технологии построения изолюксы на рабочей поверхности

При изготовлении шаблона освещенность при построении изолюксы определяется количеством накладываемых в рассматриваемую точку освещаемой поверхности световых пятен от разных прожекторов для обеспечения ее нормируемого значения. При однослойной компоновке, когда располагаются, соприкасаясь друг с другом, световые пятна только двух прожекторов, освещенность изолюксы должна быть равна:

$$e \approx E_{\min} K_3 / 2, \quad (3.44)$$

где E_{\min} – нормируемая освещенность освещаемой поверхности;
 K_3 – коэффициент запаса, принимаемый равным 1,5.

Когда в освещаемую точку приходится направлять несколько световых пятен, накладывая их друг на друга, что имеет место в случае необходимости обеспечения высокой освещенности освещаемой поверхности, освещенность изолюксы можно приближенно определить по формуле

$$e \approx E_{\min} K_3 / (2n + 1), \quad (3.45)$$

где n – число накладываемых друг на друга световых пятен (исходных изолюкс от одного прожектора).

Отметим, что расчет прожекторного освещения методом компоновки изолюкс довольно трудоемок. В этом случае рациональнее применять современные информационные технологии, базирующиеся на компьютерной технике и специальном программном обеспечении.

Приближенно необходимую мощность прожекторной осветительной установки можно определить методом удельной мощности, воспользовавшись формулой

$$N = p_{\text{уд}} S / P_{\text{л}}, \quad (3.46)$$

где N – количество прожекторов, необходимое для создания на расчетной поверхности заданной освещенности, шт;

$p_{\text{уд}}$ – значение удельной мощности, Вт · м⁻²;

S – площадь освещаемой поверхности, м²;

$P_{\text{л}}$ – мощность лампы в принятом типе прожектора, Вт.

Значение удельной мощности прожекторного освещения определяют по справочным данным (табл. 3.16) или по формуле

$$P_{уд} = m E_{\min} K_3, \quad (3.47)$$

где m – коэффициент, определяемый по табл. 3.17 в зависимости от нормированной освещенности, типа прожектора и источника света.

Таблица 3.16

Ориентировочные значения удельной мощности прожекторного освещения

Источник света	Ширина освещаемой площадки, м	Удельная мощность общего освещения, Вт · м ⁻² , при нормируемой минимальной освещенности, лк				
		0,5	1	2	5	10
Лампы накаливания	75...150	0,85	0,75	0,85	2,10	4,00
	151...300	0,40	0,65	0,70	1,70	3,20
Галогенные лампы накаливания	75...125	0,18	0,45	0,55	1,40	2,70
	126...300	0,15	0,25	0,40	1,00	2,00
Лампы ДРЛ	75...250	0,20	0,35	0,50	1,20	2,00
	251...300	0,10	0,30	0,45	1,00	1,80
Лампы ДРИ	75...150	0,18	0,25	0,50	0,70	1,30
	151...350	0,13	0,15	0,20	0,45	0,80

Таблица 3.17

Ориентировочные значения коэффициента m

Тип лампы	Тип прожектора	Ширина освещаемой площадки, м	Нормируемая освещенность, лк	
			0,5...1,5	2,0...10,0
Лампа накаливания	ПЗС, ПСМ	75...150	0,90	0,30
		175...300	0,50	0,25
Галогенная лампа накаливания	ПКИ	75...125	0,35	0,20
		150...300	0,20	0,15
Лампа ДРЛ	ПЗС, ПЗМ	75...250	0,25	0,13
		275...350	0,30	0,15
Лампа ДРИ	ПЗС, ПСМ	75...150	0,30	0,10
		175...350	0,16	0,06

Далее, исходя из размеров освещаемой поверхности, ее особенностей и назначения, определяют число и место расположения прожекторных мачт, а также число прожекторов, подлежащих установке на каждой из них. При проектировании расположения мачт с прожекторами следует учесть, что к основанию мачты примыкает затемненное пространство, ограниченное для большинства прожекторов радиусом примерно $H_p \operatorname{tg}(45^\circ - \Theta)^\circ$.

3.5.2. Освещение открытых пространств светильниками

При освещении открытых узких полос (улиц, дорог, проходов между зданиями и т. п.) при нормированной освещенности 4 лк и более применяют светильники наружного освещения, как правило, с газоразрядными лампами высокого давления ДРЛ, ДРИ и ДНаТ или светодиодными. Во всех остальных случаях, включая охранное и декоративное освещение территорий, в качестве источника света могут использоваться лампы накаливания и газоразрядные лампы низкого давления.

Для ограничения слепящего действия установок наружного освещения на площадках промышленных предприятий и местах проведения работ, расположенных вне зданий, высоту установки светильников, согласно ТКП 45-2.04-153–2009, выбирают:

- для светильников с защитным углом менее 15° – не менее значений, указанных в табл. 3.18;
- для светильников с защитным углом более 15° – не менее 3,5 м при любых источниках света.

Таблица 3.18

Наименьшая высота установки светильников наружного освещения

Светораспределение светильников	Наибольший световой поток ламп в светильниках, установленных на одной опоре, лм	Наименьшая высота установки светильников, м	
		с лампами накаливания	с газоразрядными лампами
полуширокое	менее 5000	6,5	7,0
	5000...10000	7,0	7,5
	10000...20000	7,5	8,0
	20000...30000	–	9,0
	30000...40000	–	10,0
	свыше 40000	–	11,5

Светораспределение светильников	Наибольший световой поток ламп в светильниках, установленных на одной опоре, лм	Наименьшая высота установки светильников, м	
		с лампами накаливания	с газоразрядными лампами
широкое	менее 5000	7,0	7,5
	5000...10000	8,0	8,5
	10000...20000	9,0	9,5
	20000...30000	–	10,5
	30000...40000	–	11,5
	свыше 40000	–	13,0

Не ограничивается высота подвеса светильников с защитным углом 15° и более (или с рассеивателями из молочного стекла) на площадках для прохода людей или обслуживания технологического оборудования, а также у входа в здание. Венчающие светильники рассеянного света должны устанавливаться на высоте не менее 3 м над уровнем земли при световом потоке источника света до 6000 лм и на высоте не менее 4 м при световом потоке свыше 6000 лм.

Рекомендации по расположению светильников на плане освещаемой территории или дороги приведены в табл. 3.19.

Таблица 3.19

Рекомендуемые способы расположения светильников для улиц и дорог

Способ расположения светильников	Ширина проезжей части (освещаемой полосы), м, не более
На опорах с одной стороны проезжей части	12
В один ряд на тросах по оси проезжей части	18
На опорах с двух сторон проезжей части в шахматном порядке	24
То же в прямоугольном порядке	48
С двух сторон опор, расположенных в один ряд на разделительной полосе проезжей части	24
В два ряда, на тросах, по оси движения в шахматном порядке	36

Расчет освещенности, создаваемой светильниками наружного освещения, может производиться методами коэффициента использования светового потока и точечным. Средняя освещенность $E_{\text{ср}}$, создаваемая осветительной установкой по методу коэффициента использования светового потока, определяется по формуле

$$E_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^N (\Phi_{\text{ли}} \eta_i) / (L b K_3). \quad (3.48)$$

Пролет между опорами для создания нормируемой освещенности E_{min} равен:

$$L = \sum_{i=1}^N (\Phi_{\text{ли}} \eta_i) / (E_{\text{min}} b K_3), \quad (3.49)$$

где $\Phi_{\text{ли}}$ – световой поток всех ламп, установленных на опоре, лм;

K_3 – коэффициент запаса, для ламп накаливания принимается равным 1,3, для газоразрядных ламп – 1,5;

b – ширина освещаемой площадки, м;

L – расстояние между опорами; м;

N – число рядов осветительных приборов вдоль освещаемой полосы.

Коэффициент использования светового потока зависит от положения светильников на освещаемой полосе (рис. 3.14) и определяется по табл. 3.20 в зависимости от значения отношения b/H_p . Для случая, когда светильники размещены вдоль оси освещаемой полосы и $b_1 = b_2$, суммарный коэффициент использования светового потока одного ряда осветительных приборов $\eta = 2 \cdot \eta_1$, а при $b_1 \neq b_2$ – $\eta = \eta_1 + \eta_2$. Для случая, когда светильники размещены вне освещаемой полосы, $\eta = \eta_1 - \eta_2$, при этом η_1 соответствует b_1/H_p , $\eta_2 - b_2/H_p$.

Необходимое число светильников N_{Σ} , располагаемых равномерно по периметру больших площадей, рассчитывается по формуле:

$$N_{\Sigma} = (E_{\text{min}} S K_3) / (\eta \Phi_{\text{л}}). \quad (3.50)$$

Коэффициент использования светового потока в этом случае определяется для отношения $b/H_p = 5$.

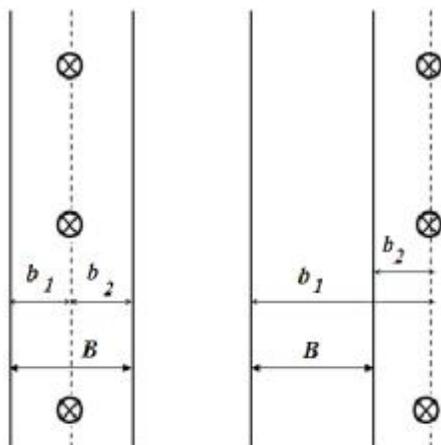


Рис. 3.14. Расположение светильников на освещаемой полосе

Таблица 3.20

Значения коэффициента использования светового потока светильников
наружного освещения, отн. ед.

Тип светильника	Отношение ширины освещаемой полосы по одну сторону от ряда светильников к высоте их подвеса, b/H_p				
	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0
РКУ01	0,15	0,22	0,27	0,29	0,30
ЖКУ01	0,17	0,29	0,34	0,35	0,35
РКУ02, ГКУ02, ЖКУ02	0,18	0,28	0,33	0,34	0,35
PCY05, ГCY05, ЖCY05	0,14	0,24	0,26	0,29	0,30
СЗПР-250-МН	0,10	0,19	0,22	0,24	0,25
СПОР-250В, СПОГ-250	0,10	0,18	0,24	0,28	0,28
СКЗПР-400	0,11	0,19	0,25	0,29	0,30
СПО-200	0,11	0,14	0,24	0,29	0,33
СПЗЛ	0,09	0,16	0,19	0,21	0,22
СКЗЛ	0,10	0,13	0,20	0,22	0,24
РГУ01	0,10	0,13	0,15	0,16	0,16
РГУ02	0,09	0,13	0,14	0,14	0,14
РГУ04	0,10	0,13	0,14	0,15	0,15
РГУ05	0,05	0,09	0,14	0,14	0,14

Расчет по формуле (3.48) обычно производят в следующей последовательности. Задают мощность источника света и определяют суммарную относительную освещенность

$$\sum \varepsilon = (1000 E_{\min} K_3 H_p^2) / \sum \Phi_{\text{ли}} . \quad (3.51)$$

Разделив $\sum \varepsilon$ на число равно освещающих точку светильников, определяют ε . По известному значению ε и принятому типу светильника по кривым относительной освещенности (рис. 3.15) определяют значение отношения d/H_p , где d – кратчайшее расстояние от рассматриваемой точки до точки проекции светильника на освещаемую горизонтальную поверхность. Далее, зная высоту подвеса H_p и ширину освещаемой полосы B , отыскивают значение d и расстояние между светильниками L .

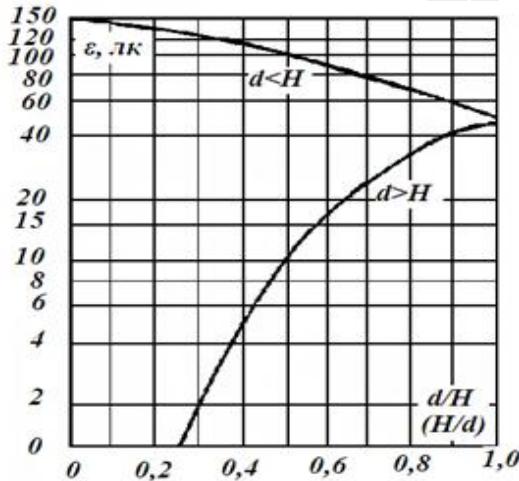


Рис. 3.15. Пример представления кривых относительной освещенности (светильник СПО-200)

Если же требуется определить мощность ламп, необходимую для создания требуемой минимальной освещенности, то расчет ведут по формуле (3.51). По известным значениям L , d и H_p определяют d/H_p и по кривым относительной освещенности находят значение ε . Далее определяют $\sum \varepsilon$, необходимый световой поток ламп $\sum \Phi_{\text{ли}}$ и подбирают лампу.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Расскажите об устройстве, классификации (по светораспределению, форме КСС, способу установки), характеристиках, условном обозначении и номенклатуре светильников.

2. Какие параметры положены в основу нормирования искусственного освещения помещений, зданий и сооружений, мест производства работ вне зданий, территорий? Какие известные Вам нормативные документы регламентируют нормы минимальной освещенности?

3. Какие качественные показатели обеспечения условий видимости регламентируются нормами искусственного освещения? Как обеспечивается выполнение этих показателей при проектировании осветительных установок?

4. Приведите последовательность рассмотрения и содержание вопросов при проектировании светотехнической части установки искусственного освещения.

5. По каким параметрам осуществляется выбор типа светильников и их размещение в помещении при проектировании осветительной установки? Приведите основные расчетные формулы.

6. Как осуществляется расчет осветительной установки точечным методом (пространственных или линейных изолукс, методами коэффициента использования светового потока и удельной мощности)? Приведите основные расчетные формулы.

7. Расскажите особенности расчета осветительной установки, выполненной светильниками с люминесцентными лампами, методами линейных изолукс (коэффициента использования светового потока и удельной мощности), приведите основные расчетные формулы.

8. Как осуществляется проектирование и расчет осветительной установки при освещении открытых пространств прожекторами? Приведите основные расчетные формулы.

9. Как осуществляется проектирование и расчет осветительной установки, выполненной светильниками, при освещении открытых пространств? Приведите основные расчетные формулы.

4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

По проблемам и способам применения оптического излучения (УФ, видимого и ИК) сельскохозяйственное производство особо выделяется из всех отраслей народного хозяйства. Здесь оптическое излучение широко применяют не только для обеспечения зрительного восприятия окружающих нас предметов, но все в большей степени для интенсификации технологических процессов путем непосредственного электротехнологического воздействия на живые организмы и растения.

Оптическое излучение улучшает обмен веществ, стимулирует продуктивность и резистентность, вызывает общефизиологические сдвиги тонизирующего и терапевтического характера, оказывает влияние на нервную систему животных, является основой нормального углеродного питания, существования и формирования растений. Оно становится неотъемлемой частью таких технологических процессов, как предпосевная обработка семян, сушка сельскохозяйственной продукции, пастеризация молока, обеззараживание воды и воздуха, обогрев молодняка животных и птицы и др.

4.1. Ультрафиолетовое облучение животных и птицы

УФ-излучение диапазона длин волн 100...380 нм⁴⁴ отличается относительно высокой энергией фотонов, оказывающих непосредственное биологическое воздействие на живой организм, которое проявляется через фотохимические реакции в теле животных и птицы. Одной из фотохимических реакций, происходящих под влиянием УФ-лучей, является реакция фотолиза дегидрохолестерина. Последний значительно превышает по своей антирахиитной активности витамин D_2 , имеющийся в достаточных количествах в живых организмах и корме. Наряду с образованием витамина D_3 , под влиянием УФ-излучения образуются и другие биологически активные продукты: ацетилхолин, гистамин, продукты окисления жирных кислот и т. д. Эти вещества, попадая в кровоток, путем сложных нейроэндокринных реакций переносят положительный эффект от УФ-облучения на весь живой организм.

⁴⁴ УФ-излучение короче 100 нм интенсивно поглощается воздухом и в сельскохозяйственном производстве практически не используются.

Поглощенное и преобразованное УФ-излучение изменяет гормональный статус животных и птицы, усиливает деятельность гипофиза, надпочечников, щитовидной, поджелудочной желез, а также половых желез. Как следствие изменяется работа почти всех жизненно важных органов, что выражается в улучшении обмена веществ, физиологического состояния, в частности, повышении резистентности организма, увеличении продуктивности животных.

Искусственная компенсация естественного УФ-излучения, имеющая место в осенне-зимний период содержания животных в закрытых помещениях, при надлежащем кормлении и обеспечении необходимых температурно-влажностных условий на 5...13 % повышает удои коров при сохранении жирности молока на том же уровне или некотором ее увеличении. У телят среднесуточные приросты массы повышаются на 7...13 %, у поросят – до 20 %, у свиней на откорме – на 4...10 % при улучшении качества мяса. УФ-облучение птицы вызывает повышение яичной продуктивности на 10...15 %. Прединкубационное облучение яиц увеличивает выводимость цыплят на 5...10 %. При облучении цыплят-бройлеров и мясных утят наряду с повышением прироста массы на 4...11 % увеличивается выход тушек первой категории на 4...7 %.

Поэтому в системе зоотехнических и ветеринарных мероприятий при содержании сельскохозяйственных животных и птицы в закрытых помещениях предусматривают искусственное УФ-облучение [3, 4, 18...22].

4.1.1. Устройство и характеристики установок ультрафиолетового облучения

Для УФ-облучения сельскохозяйственных животных и птицы применяют различного рода облучатели и установки, содержащие все необходимые детали и оборудование для крепления и предохранения источника от разрушающего воздействия окружающей среды, механических повреждений и загрязнения, присоединения к питающей сети, перераспределения потока УФ-излучения источников и, при необходимости, перемещения.

Все УФ-облучатели и установки подразделяют (табл. 4.1) на стационарные (ЭСР01-40, ЭО1-30М, ОЭ-1, ОЭ-2, ОЭСР02-2×40), переносные (ОРК-2, ОРКШ) и подвижные (УО-4, УОК-1)⁴⁵.

⁴⁵ Подвижные облучательные установки из-за невысокой механической надежности и сложности в эксплуатации применяются довольно редко.

Таблица 4.1

Технические параметры ультрафиолетовых облучателей и установок

Тип УФ-облучателей и установок	Источник УФ-излучения		Установленная мощность ¹⁾ , Вт	Номинальное напряжение, В	Габариты, мм	Масса, кг
	тип	Количество				
<i>Стационарные</i>						
ЭОС01-40	ЛЭО40 ²⁾	1	40 (36)	220	1269×194×152	3,0–3,5
ЭО1-30М	ЛЭ30	1	30	220	1000×250×155	6,5
ЭСП01-30	ЛЭ30	1	30	220	985×107×146	2,9
ЭО1 и ЭО2	ЛЭ30	1	30	220	1000×250×155	6,5
ОЭСП02-2×40	ЛЭР40 ЛБР40	1	80	220	1305×190×685	9,5
		1				
<i>Переносные</i>						
ОРК-2	ДРТ400	1	400	220	340×205×215 ³⁾	3,7 ³⁾
					175×115×250 ⁴⁾	6,5 ⁴⁾
ОРКШ	ДРТ400	1	400	220	480×480×1810	25

Примечания: ¹⁾ без учета потерь в ПРА; ²⁾ или TUV 36W T8 G13 (Philips); ³⁾ облучателя; ⁴⁾ питающего устройства.

Облучатель сельскохозяйственный для профилактического УФ-облучения животных и птиц **ЭСП01-40** (рис. 4.1) поставляется с лампой типа ЛЭО (ЛЭОР) мощностью 40 Вт или аналогичной ей TUV 36W T8 G13 (Philips). Корпус и крышка облучателя изготовлены по технологии литья под давлением из стеклонеполненного полиамида. Стальной диффузный отражатель окрашен белой порошковой краской. Уплотнительный контур между крышкой и корпусом изготовлен из полиуретана. Герметичный ламподержатель (P65) выполнен из поликарбоната, удобно защелкивается при монтаже в металлические скобы из нержавеющей стали. Поставляется в модификации 001 (с отражателем) и 101 (с отражателем и решеткой), электромагнитными или электронными ПРА.



Рис. 4.1. Общий вид облучателя ЭСП01-40

Витальный облучатель ЭО1-30М выполнен в пылевлагозащищенном исполнении в виде корпуса-отражателя из тонколистовой стали, покрытой антикоррозийной краской с достаточно высоким коэффициентом отражения УФ-лучей (рис. 4.2). На отражателе с помощью ламподержателей брызгозащищенного исполнения крепится защищенная металлической сеткой витальная лампа ЛЭ30-1 и ПРА (устройство 1УБИ-30/220-ВП... и два конденсатора КБГ-МІ-600В емкостью 0,03 мкФ). К потолочному перекрытию или тросу облучатель крепится с помощью двух подвесок.

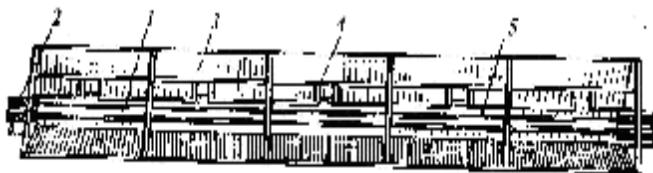


Рис. 4.2. Облучатель ЭО1-30 с лампой ЛЭ-30: 1 – витальная лампа; 2 – ламподержатель; 3 – отражатель; 4 – защитная сетка; 5 – ПРА

Разновидностями облучателя ЭО1-30М являются облучатели ЭО-1, ЭО-2 и ЭСП 01, ЭНП01-30, имеющие аналогичное конструктивное исполнение, форму и схемы включения в питающую сеть. Принципиальное отличие между ними заключается в том, что облучатель ЭО-1 выполнен в обычном, а ЭО-2 – в пылевлагозащищенном исполнении.

Светильник-облучатель ОЭСР02-2'40/П5'Х-01 (рис. 4.3) предназначен для одновременного освещения и облучения животных и птицы. Он рассчитан на работу с одной рефлекторной люминесцентной и одной рефлекторной витальной лампами мощностью по 40 Вт (типов ЛБР40 и ЛЭР40) в сети переменного тока частотой

50 Гц напряжением 230 В. Схема включения ламп – стартерная, независимая для разных типов ламп.



Рис. 4.3. Общий вид облучателя ОЭСП02-2×40/П5'Х-01

Светильник-облучатель состоит из стального штампованного корпуса с панелью, узлов подвеса, допускающую его индивидуальную установку на крюках или тросе, и экранирующей решетки. Внутренняя полость корпуса защищена от попадания пыли и влаги уплотнительной прокладкой по периметру корпуса, сальником для уплотнения сетевых проводов и заглушкой. В корпусе установлена розетка штепсельного разъема, ПРА, патроны брызгозащищенного исполнения и вилка штепсельного разъема.

Ввод сетевых проводов осуществляется с торца или сверху корпуса. При этом входящий в комплект сальник для уплотнения ввода переставляется на соответствующее место, а незанятое отверстие закрывается заглушкой. Штепсельный разъем позволяет стыковать светильники-облучатели в линию или подключать к магистральным проводам без разрезания.

Светильник-облучатель ОЭСП02-2×40/П5'Х-01 выполнен в частично пылезащищенном исполнении (класс 5'0). Его КПД – не менее 70 %, защитный угол в поперечной и продольной плоскостях – не менее 15°.

Для профилактического и лечебного воздействия УФ-излучением на организм небольших групп животных, облучения прединкубационных яиц птицы и цыплят в первые дни после вывода используют переносной **облучатель ртутно-кварцевый ОРК-2**. Конструктивно он состоит из отражателя с лампой ДРТ400 и питающего устройства с встроенным в него ПРА, соединенных между собой гибким кабелем длиной до 15 м (рис. 4.4). В питающем пускорегулирующем устройстве смонтированы дроссель, пусковой конденсатор КБГ-МН-400В емкостью 2 мкФ, два помехоподавляющих конденсатора КБГ-М₁-600В емкостью по 0,03 мкФ и автоматический выключатель.

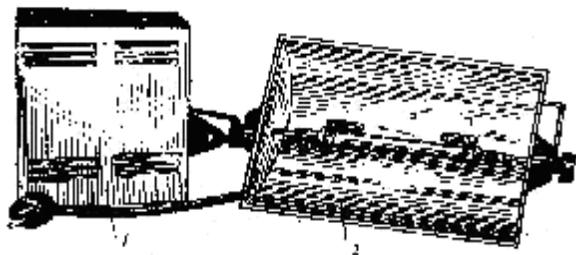


Рис. 4.4. Облучатель ОРК-2 с лампой ДРТ-400:
1 – питающее устройство с ПРА; 2 – облучатель

Подобный ОРК-2 по конструкции облучатель (устройство, принципиальная электрическая схема и некоторые технические параметры) установлен на штативе в установке ОРКШ. Установка ОРКШ содержит платформу с колесиками для облегчения ее перемещения. В корпусе платформы крепится штатив-стойка и размещается ПРА. На штативе-стойке размещается облучатель с лампой ДРТ400. Конструкция штатива-стойки и облучателя позволяет регулировать высоту подвеса облучателя и направление излучения потока оптического излучения.

Из рассмотренных облучателей в практике сельскохозяйственного производства предпочтение отдают более надежным стационарным облучателям, сочетающим в одном устройстве источники видимого и УФ-излучения (бактерицидного и витального). При разработке таких установок следуют путями: сочетанием в одном облучателе ламп видимого и УФ-излучения с независимыми схемами включения, как это выполнено в облучателях типов ОЭСП02-2×40, КСО-2, КСО-3, ОЭРБА3×30 и др. или применением в облучателе специальных ламп, одновременно излучающих в УФ- и видимом диапазонах, как это выполнено в облучателе ЭСП01-40, в котором предусмотрена установка лампы ЛЭО или ЛЭОР.

4.1.2. Расчет установок ультрафиолетового облучения

Подразделение установок на стационарные и подвижные вносит определенную специфику и в методику их расчета [18, 21...23].

Дозирование УФ-облучения при стационарной установке ведется по времени ее работы при известном значении облученности

на расчетной поверхности. Поэтому расчет стационарных установок УФ-облучения сводится к определению количества облучателей, облученности и времени, за которое облучаемый объект получит необходимую суточную дозу (табл. 4.2). Для определения облученности могут быть применены известные методы расчета осветительных установок с обязательным учетом некоторых специфических особенностей УФ-облучения:

- УФ-лучи практически не отражаются от потолка, стен и рабочей поверхности, поэтому при расчетах коэффициенты отражения УФ-лучей от названных поверхностей принимают равными нулю;

- УФ-лучами облучаются животные и птица. Наиболее полную форму их тела определяет сфера или цилиндр. Если принять, что форма поверхности тела животных или птицы незначительно отличается от сферы или цилиндра, то это отличие от горизонтальной поверхности в расчетной формуле (1.23) можно учесть коэффициентом формы K_{Φ} , который принимают независимо от угла падения лучей на поверхность равным для сферы $K_{\Phi} \approx 0,5$, а для цилиндра $K_{\Phi} \approx 0,64$.

- за расчетную точку при определении времени работы установки УФ-облучения принимается точка с наибольшей облученностью, что исключает переоблучение и ожоги животных и птицы.

Метод коэффициента использования эффективного потока взят из методов расчета осветительных установок практически без каких-либо изменений. Он применим при относительно равномерном размещении объектов облучения на горизонтальной поверхности. Коэффициент неравномерности облучения – отношение максимальной облученности горизонтальной поверхности к минимальной – принимают равным 1,4.

Расчет установок методом коэффициента использования эффективного потока производится в следующей последовательности:

- придерживаясь светотехнически наиболее выгодного относительного расстояния размещают облучатели над облучаемой поверхностью;

- определяют коэффициент использования эффективного потока облучательной установки и среднюю облученность;

- вычисляют время работы установки для обеспечения суточной нормированной дозы облучения.

Таблица 4.2

Рекомендуемые суточные дозы экспозиции сельскохозяйственных животных и птицы

Вид животных и птицы	Витальная экспозиция, мвит·час·м ⁻²	Допустимая витальная облученность, мвит·м ⁻²
Коровы и быки-производители	270...290	930
Телята старше 6 месяцев	160...180	570
Телята до 6 месяцев	120...140	430
Телки и нетели	180...210	570
Поросята-сосуны	20...25	83
Поросята отъемыши	60...80	230
Поросята на откорме и свиноматки	60...80	–
Куры-несушки при содержании на полу	20...25	–
Куры несушки при клеточном содержании	40...50	150
Цыплята при содержании на полу	15...20	58
Цыплята при содержании в клетках	20...25	58
Овцематки	245...260	–
Ягнята от трех дневного возраста и до отбивки	220...240	–

До размещения стационарных облучателей определяют расчетную высоту подвеса облучателей над облучаемой поверхностью H_p из предположения, что

$$H_p \geq \sqrt{I_0 / E_{\text{доп}}}, \quad (4.1)$$

где I_0 – осевая сила витального излучения принятого облучателя, вит·ср⁻¹;

$E_{\text{доп}}$ – допустимая витальная облученность, вит·м⁻² (табл. 4.2).

При известном значении расчетной высоты подвеса облучателей над уровнем облучаемой поверхности H_p не сложно определить высоту свеса облучателей (расстояние от их светового центра до перекрытия или точки подвеса) h_c (рис. 4.5):

$$h_c = H_0 - H_p - h_p, \quad (4.2)$$

где H_0 – высота помещения (или расстояние от точки подвеса светильника до пола), м;

h_c – высота свеса облучателей, м;

h_p – высота расчетной (на которой нормируется облученность) поверхности над полом, м.

Далее размещают облучатели с учетом относительного светотехнически наиболее выгодного расстояния λ_c , предварительно определив расстояния между облучателями в ряду L_A и между рядами L_B :

$$L_{A,B} = \lambda_c H_p. \quad (4.3)$$

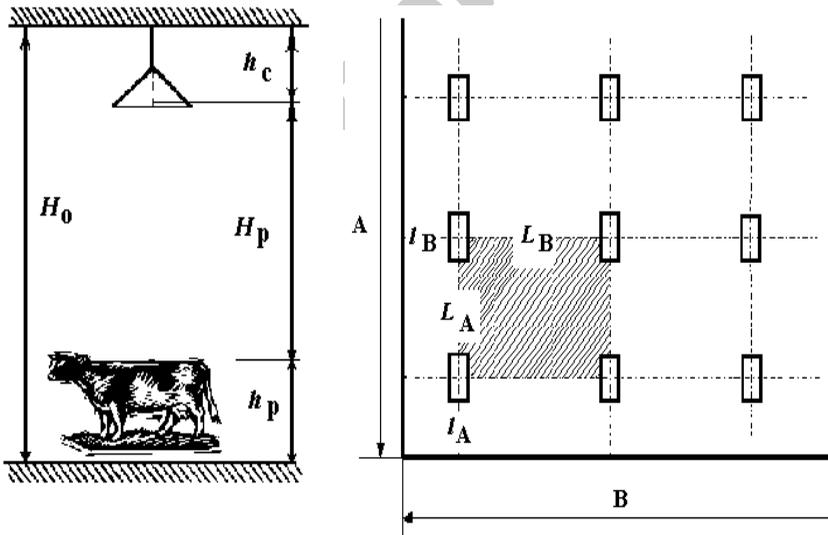


Рис.4.5. Размещение облучателей над облучаемой поверхностью – в разрезе и на плане помещения

Светотехнически наивыгоднейшее относительное расстояние λ_c для облучателей с лампами ДРТ и ЛЭ (ЛЭО, ЛЭР, ЛЭОР) в стандартной арматуре принимают равным 1,4. При этом коэффициент неравномерности облученности z не превышает 1,15...1,25, а размещение облучателей над поверхностью можно определить по формулам (4.4...4.8).

При равномерном размещении облучателей по углам прямоугольника расстояние от крайнего облучателя в ряду l_A и крайнего ряда облучателей l_B до границы облучаемой поверхности принимают равными:

$$l_{A, B} = k_l L_{A, B}, \quad (4.4)$$

где k_l – коэффициент, определяющий отношение $l_{A, B}$ к $L_{A, B}$, равный 0,3...0,5.

Тогда по известным значениям L_A , L_B , l_A и l_B , длине A и ширине B облучаемой поверхности определяют:

– число рядов облучателей N_2 :

$$N_2 = (B - 2l_{A, B}) / L_{A, B} + 1; \quad (4.5)$$

– число облучателей в одном ряду N_1 :

$$N_1 = (A - 2l_{A, B}) / L_{A, B} + 1; \quad (4.6)$$

– и, после округления N_1 и N_2 до ближайшего целого, их общее количество N_Σ :

$$N_\Sigma = N_1 N_2. \quad (4.7)$$

После определения общего количества облучателей их размещают на плане облучаемой поверхности определяют действительные расстояния l_A , l_B , L_A и L_B ⁴⁶

$$L_A = A / (N_1 - 2l_A) \quad \text{и} \quad L_B = B / (N_2 - 2l_B). \quad (4.8)$$

Дальнейший расчет сводится к определению облученности, создаваемой на нормируемой поверхности, и времени облучения для

⁴⁶ Определять действительные расстояния l_A , l_B , L_A и L_B следует с учетом разумных округлений так, что бы полученные значения удобно было использовать при монтаже.

получения суточной дозы (экспозиции). Основная расчетная формула метода коэффициента использования эффективного потока:

$$E_B = (\Phi_B N_\Sigma \eta_\Sigma K_\Phi) / (K_3 S), \quad (4.9)$$

где E_B – средняя витальная облученность объекта, вит·м⁻²;

Φ_B – витальный поток, излучаемый одним облучателем (при наличии в облучателе нескольких источников определяется как произведение витального потока источника на их количество в облучателе и КПД облучателя), вит;

N_Σ – общее количество облучателей в установке, шт;

η_Σ – коэффициент использования эффективного потока, отн. ед;

K_Φ – коэффициент формы животных или птицы, равный 0,5 или 0,64 (1.23);

K_3 – коэффициент запаса, принимают равным 1,5...2,0;

S – площадь облучаемой поверхности, м².

Коэффициент использования эффективного потока η_Σ определяется по табл. 4.3 с учетом индекса установки i , который рассчитывается по формуле (3.29), в которой: S – площадь облучаемой поверхности, м²; A, B – размеры облучаемой поверхности, м.

Расчетная высота подвеса облучателей над облучаемой поверхностью H_p должна удовлетворять требованию

$$E_B K_3 z \leq E_{\text{доп}}, \quad (4.10)$$

где z – коэффициент неравномерности облучения (1,15...1,25).

Таблица 4.3

Значения коэффициентов использования эффективного потока (отн. ед.) в установках с ультрафиолетовыми облучателями

Индекс установки	Облучатели в стандартной арматуре с лампами		Индекс установки	Облучатели в стандартной арматуре с лампами	
	ДРТ	ЛЭ и ЛЭО		ДРТ	ЛЭ и ЛЭО
0,5	0,16	0,20	1,75	0,46	0,49
0,6	0,21	0,24	2,0	0,49	0,52
0,7	0,29	0,28	2,25	0,51	0,54
0,8	0,33	0,31	2,5	0,53	0,56

Индекс установки	Облучатели в стандартной арматуре с лампами		Индекс установки	Облучатели в стандартной арматуре с лампами	
	ДРТ	ЛЭ и ЛЭО		ДРТ	ЛЭ и ЛЭО
0,9	0,36	0,34	3,0	0,56	0,58
1,0	0,37	0,36	3,5	0,59	0,60
1,1	0,39	0,39	4,0	0,60	0,62
1,25	0,41	0,42	5,0	0,62	0,64
1,5	0,44	0,46			

При известной витальной экспозиции облучения H_{Σ} и средней витальной облученности E_B время облучения t , за которое облучаемый объект получит требуемую витальную экспозицию, равно:

$$t = H_{\Sigma} / E_B, \quad (4.11)$$

где H_{Σ} – рекомендуемая суточная витальная экспозиция облучения (табл. 4.2).

Ориентировочно продолжительность работы стационарной установки УФ-облучения можно определить по так называемому методу «удельной облученности» исходя из значения витальной облученности E_B , создаваемой источником на поверхности облучения (рис. 4.6), высоты подвеса источника H_p и нормируемой витальной экспозиции H_{Σ} . То есть

$$t = H_{\Sigma} / (E_B K_A) \quad (4.12)$$

где $K_A = 1,2 \dots 1,4$ – коэффициент, учитывающий влияние арматуры на перераспределение лучистого потока в нужном направлении.

Этот метод прост, но пригоден для приближенного расчета витальной облученности от единичного облучателя, когда рядом находящиеся облучатели не создают ощутимый лучистый поток, направленный на облучаемую поверхность.

При известной кривой распределения силы витального излучения облучателя для расчета стационарных облучательных установок может быть использован точечный метод. При этом в качестве расчетной точки принимают точку с наилучшими условиями

облучения, что позволяет избежать переоблучения тела животного или птицы. Как правило, такой расчетной точкой является точка проекции облучателя, расположенного в центре облучательной установки, на нормируемую поверхность (точка под облучателем в центре облучаемой поверхности).

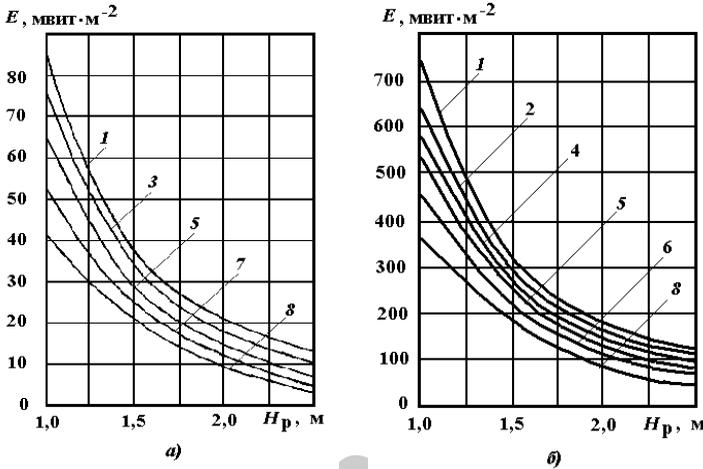


Рис. 4.6. Зависимости витальной облученности, создаваемой лампами ЛЭ30-1 (а) и ДРТ400 (б), от расстояния до облучаемой поверхности и продолжительности эксплуатации ламп: 1 – новая лампа; 2 – после 100 часов; 3 – после 150 часов; 4 – после 200 часов; 5 – после 300 часов; 6 – после 500 часов; 7 – после 600 часов; 8 – после 1000 часов

В точечном методе значение витальной облученности в точке на расчетной поверхности E_B , создаваемой совместным действием нескольких ближайших облучателей, определяется по формуле

$$E_B = (\mu K_\Phi) / (H_p^2 K_3) \sum_{i=1}^{N_3} I_{\alpha_i} \cdot \cos^2 \alpha_i, \quad (4.13)$$

где I_{α_i} – сила витального излучения облучателя под углом α_i к вертикальной оси симметрии облучателя, вит·ср⁻¹;

μ – коэффициент добавочной облученности, создаваемой неучтенными облучателями (принимают равным 1,1...1,3);

α_i – угол между направлением силы излучения и осью симметрии i -го излучателя, град.

Силу витального излучения I_α в направлении угла α , определяют по кривым пространственного распределения силы витального излучения облучателей. Зная витальную облученность E_B определяют время работы облучательной установки (4.12).

Отметим, что при проектировании комбинированных установок витального УФ-облучения и освещения расчеты производят в две стадии. В начале, применяя известные методы светотехнических расчетов, рассчитывают установку с позиции обеспечения требуемых условий видения (при известной лампе, установленной в комбинированный облучатель, определяют необходимое для создания нормируемой освещенности рабочей поверхности количество рядов, облучателей в ряду и их общее количество в помещении) и затем по известному расположению облучателей рассчитывается время работы установки УФ-облучения для обеспечения требуемой экспозиции.

4.1.3. Особенности управления установками ультрафиолетового облучения

Важным условием результативного действия УФ-излучения является строгое соблюдение его дозирования и режима. Общеизвестно, что на живые организмы оно может быть благотворным, угнетающим или губительным, в зависимости от его качества (спектрального состава) и количества. Одну и ту же экспозицию животное или птица могут получить при множестве сочетаний облученности и продолжительности облучения. Рекомендуется отдавать предпочтение увеличению продолжительности облучения в сочетании с относительно невысокой облученностью. Однако при этом продолжительность облучения не должна превышать продолжительности светового дня.

Для точного дозирования УФ-облучения необходимо стремиться к автоматическому управлению работой стационарной облучательной установки по времени работы. При этом необходимо обратить внимание на изменение параметров источников УФ-излучения, а так же на многофакторное воздействие на них условий окружающей среды и отклонений напряжения питающей сети от номинального значения.

Облучательные установки животноводческих помещений работают в условиях химически активной окружающей среды,

повышенной влажности воздуха, запыленности и т. д. Температура окружающего воздуха существенно влияет на поток УФ-излучения витальных ламп. Например, наибольший витальный поток лампы типа ЛЭ излучают при температуре окружающего воздуха около +20 °С. При повышении или понижении температуры воздуха он уменьшается, снижаясь до 85 % максимального значения уже при +35 и +7 °С. При повышении относительной влажности воздуха уменьшается его прозрачность и действие УФ-излучения ухудшается, что объясняет понижение витальной облученности объекта при таких условиях. Существенное влияние на эффективный поток оказывает запыленность помещения. В соответствии с агрозоотехническими требованиями УФ-источники и облучатели должны подвергаться очистке от пыли не реже 1 раза в месяц, однако даже в этом случае витальный поток перед чисткой снижается за счет запыления на 25...28 % номинального.

При изменении питающего напряжения изменяется и витальный поток источников. В связи с этим для обеспечения требуемой дозы облучения при снижении напряжения сети на 10 % время облучения объекта необходимо увеличить на 40...45 %.

Поток УФ-излучения также снижается в процессе эксплуатации источников даже в пределах номинального срока службы. Например, для лампы ЛЭ поток УФ-излучения после 200 часов работы уменьшается на 14...16 %, после 400 – на 26...28 %, 600 – на 36...40 % и к концу срока службы – на 50...55 %.

С учетом вышеизложенного витальная экспозиция облучения, получаемого объектом, может существенно уменьшаться даже при выполнении всех требований к эксплуатации установок. В этом случае продуктивность облучаемых животных или птицы не только не достигнет ожидаемых величин, но может и уменьшиться. То есть, недоучет при дозировании УФ-облучения действия перечисленных выше факторов приводит к значительным отклонениям экспозиции облучения, получаемого объектом, от нормированного значения, что способно вызвать отрицательный эффект или, в лучшем случае, не вызывает никакого технологического эффекта.

Влияние указанных факторов, и в первую очередь старения источников при эксплуатации, в какой-то степени учитывается введением коэффициента запаса. Однако в этом случае для новых

источников фактическая витальная облученность значительно выше, чем рассчитываемая по формулам. Поэтому при расчете продолжительности облучения нужно учитывать срок эксплуатации источников и при новых источниках должны быть сокращены до $t_n \approx t/K_3$. По мере старения ламп t следует увеличивать с учетом изменения эффективного потока ламп. Необходимо также корректировать время облучения с учетом изменений температуры, влажности и запыленности помещений, значения напряжения питающей сети.

Кроме того, программу в начале облучения животных или птицы необходимо задавать долями от полной расчетной продолжительности с перерывами в несколько суток. К полной норме можно переходить через 7...15 дней после начала облучения. Это вызвано тем, что организм животных и птицы, особенно молодняка, медленно адаптируется к УФ-излучению.

Автоматическое управление стационарными установками УФ-излучения витального действия, как правило, осуществляется по временной программе с использованием различных реле времени. Простейшая схема автоматизации при этом имеет вид, приведенный на рис. 4.7.

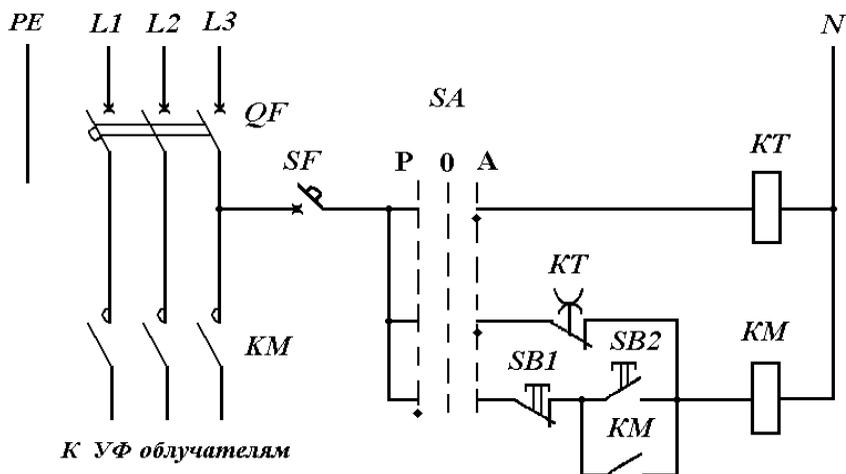


Рис. 4.7. Схема управления ультрафиолетовым облучением по временной программе

Однако при управлении по временной схеме возникает некоторая сложность постоянной регулировки режимов, учитывающих влияние вышеприведенных факторов при определении требуемой экспозиции облучения. Для учета всех этих влияющих факторов целесообразно применение специальных измерительных приборов, обеспечивающих измерение экспозиции облучения и управление УФ-установкой, в частности дозиметра ДАУ-81, который в приведенной на рис. 4.7 схеме устанавливается вместо реле времени.

4.2. Установки ультрафиолетового обеззараживания воды и воздуха

По данным Всемирной организации здравоохранения до 80 % заболеваний передается водным и воздушным путем. В окружающем нас воздухе и воде (питьевой и используемой на технические нужды) находится большое количество микробных тел, способных вызвать различные заболевания человека, животных и птицы с серьезными последствиями для их здоровья. Особенно эта проблема остро ощущается на объектах сельскохозяйственного производства, где постоянно отмечается значительная концентрация взвешенных и органических веществ, а также высокий уровень микробного загрязнения. Например, современный свиноводческий комплекс на 108 тыс. голов выбрасывает в час около 1,5 млрд микробных тел, 160 кг аммиака, 150 кг сероводорода, 30 кг пыли. Все это загрязняет атмосферу в радиусе 2,5...5,0 км, попадает в землю и воду и является серьезной экологической опасностью [4]. Подобная ситуация и на животноводческих и птицеводческих фермах и комплексах.

Для возведения барьеров на пути распространения микробного загрязнения воды и воздуха в технологических процессах производства сельскохозяйственной продукции должно быть предусмотрено обеззараживание воды и воздуха, и в первую очередь внутри помещений.

4.2.1. Способы и степень обеззараживания воды

Современные способы очистки воды в значительной мере освобождают ее не только от механических и химических загрязнений,

но и от патогенной микрофлоры, в результате чего снижается ее бактериальная загрязненность. Методами очистки воды являются: хлорирование, озонирование и УФ-облучение.

Несмотря на технические сложности при транспортировке, хранении и дозировании газа хлора, его высокую коррозионную активность, потенциальную опасность возникновения чрезвычайных ситуаций, процесс хлорирования широко применяется до настоящего времени. При всей распространенности метода хлорирования ему присущи и существенные технологические недостатки, в частности, недостаточная эффективность в отношении вирусов, образование в воде под действием хлора хлорорганических соединений, обладающих достаточно высокой токсичностью, мутагенностью и канцерогенностью.

Неудовлетворенность традиционной технологией хлорирования привела к тому, что с конца 60-х годов прошлого столетия активно проводятся работы, направленные на поиски новых методов обеззараживания воды, и создано оборудование по обеззараживанию воды УФ-излучением, по своим технико-эксплуатационным показателям приемлемое, в том числе и для станций водоочистки большой производительности.

Способ УФ-обеззараживания имеет следующие преимущества [3, 4]:

- УФ-облучение летально воздействует на большинство бактерий, вирусов, спор, оно уничтожает возбудителей таких инфекционных болезней, как тиф, холера, дизентерия, вирусный гепатит, полиомиелит и др.;

- обеззараживание происходит за счет фотохимических реакций внутри микроорганизмов без изменения физических и химических параметров воды, следовательно оказывает меньшее влияние, чем при обеззараживании химическими реагентами;

- в обработанной УФ-излучением воде не обнаруживаются токсичные и мутагенные соединения, оказывающие негативное влияние на здоровье человека, животных и птицы, сохраняется ее природный состав, вкусовые качества и химические свойства;

- в отличие от окислительных технологий в случае передозировки отсутствуют отрицательные эффекты, что значительно упрощает контроль над процессом обеззараживания;

- сокращается время обеззараживания до 1...10 секунд;

– при УФ-обеззараживании воды уменьшаются в сравнении с методами хлорирования и озонирования эксплуатационные расходы из-за сравнительно небольших затрат электроэнергии (10...30 Вт·час на 1 м³, что в 2...3 раза ниже, чем при хлорировании и в 3...5 раз – озонировании) и отсутствия потребности в дорогостоящих химических реагентах;

– оборудование для УФ-обеззараживания отличается сравнительно небольшой стоимостью, компактностью, простотой в эксплуатации и требует для установки минимальных площадей, его внедрение возможно в действующие технологические процессы без их остановки с минимальными объемами строительно-монтажных работ.

Благодаря указанным преимуществам УФ-обеззараживание воды находит достаточно широкое применение в сельскохозяйственном производстве.

Обеззараживание воды осуществляется при воздействии на нее коротковолнового УФ-излучения с длиной волны 200...280 нм, энергии фотонов которого достаточно для разрушения простейших микроорганизмов. Процесс отмирания бактерий под действием УФ-излучения принято моделировать экспоненциальным законом:

$$B = B_0 e^{-\frac{E_B \tau}{H_B}}, \quad (4.14)$$

где B – остаточная плотность бактерий после воздействия бактерицидной облученностью E_B в течении времени τ ;

H_B – коэффициент сопротивляемости бактерий, мкб·с·м⁻²;

B_0 – исходная плотность бактерий.

Значения B и B_0 задаются технологией обеззараживания. Например, в соответствии с регламентирующими документами число бактерий группы кишечных палочек в 1 дм³ питьевой воды после обеззараживания не должно превышать 3, а в исходном источнике – 1000 шт.⁴⁷.

Технологический эффект обеззараживания воды или воздуха оценивают степенью обеззараживания и определяют как отношение количества бактерий в объеме после обеззараживания B

⁴⁷ ГОСТы: 17.1.3.03–77, 2671–84, 2874–82, СанПиН 2.1.4.1074–01 и др.

к их количеству до обеззараживания B_0 , то есть B/B_0 . Степень обеззараживания обычно принимают в пределах $0,01 \dots 0,001$, а для операционных помещений – $0,00001$.

Бактерицидный поток от источника пронизывает объем воздуха или воды, и в этих средах рассеивается по закону экспоненты (закон ослабления Бугера-Ламберта – 1.32), что может быть представлено уравнением

$$E_h = E_0 \cdot \exp(-\alpha h), \quad (4.15)$$

где E_0 и E_h – бактерицидная облученность на поверхности среды и в среде на глубине h , мбк·м⁻²;

α – показатель поглощения (табл. 4.4), м⁻¹.

Степень обеззараживания определяется дозой облучения и сопротивляемостью бактерий, что может быть представлено в виде

$$B / B_0 = \exp(-E_{\text{CP}} \tau_{\text{CP}} / H_B), \quad (4.16)$$

где E_{CP} – средняя бактерицидная облученность, мбк·м⁻²;

τ_{CP} – среднее время обеззараживания, сек.

Таблица 4.4

Показатель поглощения среды

Среда	Источник	Показатель поглощения, м ⁻¹
Вода	Родник, колодец с хорошей фильтрацией	15
	Артезианские колодцы, глубокие горизонты	10
	Поверхностные источники	20–30
Воздух	Нормальная среда	0,05–0,07
	Запыленная среда	0,02–0,5

Средняя бактерицидная облученность

$$E_{\text{CP}} = \frac{1}{h} \int_0^h E_0 e^{-\alpha h} dh = \frac{E_0}{\alpha h} (1 - e^{-\alpha h}). \quad (4.17)$$

4.2.2. Установки для ультрафиолетового обеззараживания воды

В настоящее время существует целый ряд воплощенных в оборудовании конструктивных решений, позволяющих применять УФ-излучение для обеззараживания воды. Их различают по способам расположения источников (с погруженными или не погруженными в воду) и перемещения воды (с гравитационным течением или напорные). Они выполняются в едином корпусе или в виде отдельных модулей, размещаемых в лотках, с большим или меньшим расстоянием между источниками. Бактерицидные лампы, применяемые в разных установках, могут различаться по типу и способу ориентации относительно потока воды (параллельно или перпендикулярно к нему).

Конструкция большинства современных установок для УФ-обеззараживания воды основана на применении полностью погруженных в поток воды источников бактерицидного излучения (рис. 4.8). Бактерицидные источники в таких установках расположены внутри кварцевых чехлов для их защиты от контакта с водой и обеспечения оптимального температурного режима во время работы. В установках для УФ-обеззараживания воды с не погруженными источниками бактерицидные лампы располагаются в специальных отражателях над поверхностью воды, непрерывно протекающей по лотку (рис. 4.9).

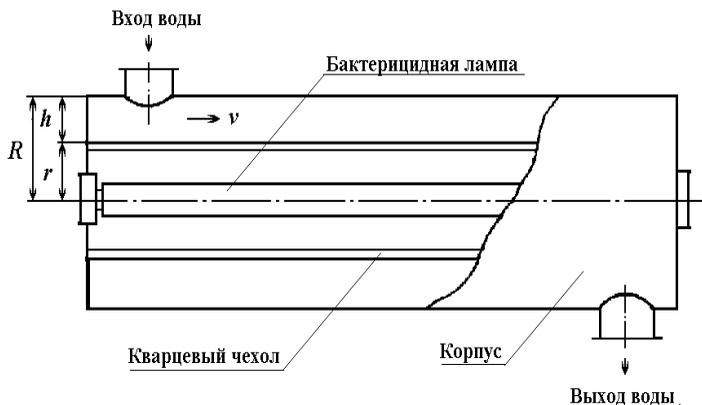


Рис. 4.8. Установка ультрафиолетового обеззараживания воды с погруженными источниками бактерицидного излучения:

R – радиус корпуса; h – толщина слоя облучаемой вода;

r – радиус кварцевого чехла; v – средняя скорость потока вода

Установки с погруженными источниками применяются чаще, так как они отличаются компактностью и поставляются практически в готовом для монтажа и эксплуатации виде.

Конструкции установок для обеззараживания воды должны предусматривать постоянное перемешивание и перемешивание воды, а так же сетки для предотвращения попадания в них твердых предметов. В лотках установок не погруженными источниками для этого установлены сетка на входе и перегородки по ходу течения воды с отверстиями, расположенными в асимметричном порядке. Конструкции установок для обеззараживания воды должны предусматривать постоянное перемешивание и перемешивание воды, а так же сетки для предотвращения попадания в них твердых предметов. В лотках установок не погруженными источниками для этого установлены сетка на входе и перегородки по ходу течения воды с отверстиями, расположенными в асимметричном порядке.

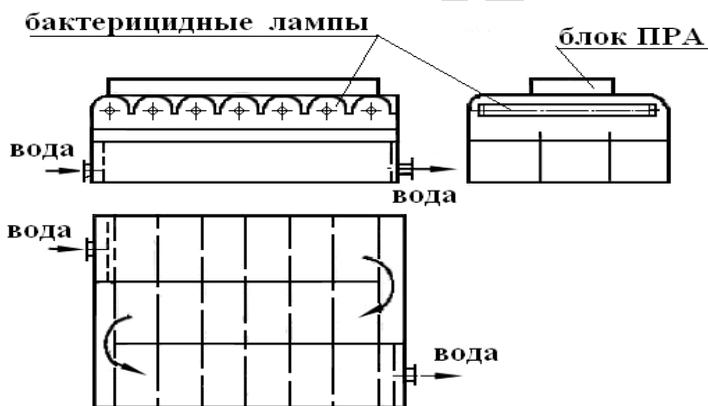


Рис. 4.9. Вариант конструкции установки ультрафиолетового обеззараживания воды с не погруженными источниками бактерицидного излучения

В качестве источников УФ-излучения в установках используются бактерицидные лампы типов ДБ (ДБ30, ДБ60) и ДРТ (ДРТ400, ДРТ1000, ДРТ2500).

Выпускаемые промышленностью установки для обеззараживания воды поставляются под марками УОВ, УДВ, ОДВ и др. При маркировке могут указываться номер серии, количество источников бактерицидного излучения, производительность ($\text{м}^3 \cdot \text{час}^{-1}$),

допустимое давление воды в установке, способ расположения источников (Н – не погруженные или П – погруженные) и другие технические параметры. Примеры маркировок: УОВ-5Н, УОВ-6П (установка для УФ-обеззараживания воды, количество источников и их способ расположения); УДВ-0,5/1, УДВ-1/1 (УДВ-1А95-10-40, УДВ-1А300Н-10-50-114), УДВ-5/1 (УДВ-5А300Н-10-150) и т. д. Их производительность от 1 до 2000 м³·час⁻¹, однако при необходимости увеличения пропускной способности установка может собираться из отдельных модулей, устанавливаемых параллельно. Установки могут комплектоваться дополнительными элементами, например, первичными преобразователями (датчиками), блоками промывки и др.

При эксплуатации установок для УФ-обеззараживания воды необходимо учитывать факторы, которые могут приводить к уменьшению экспозиции УФ-облучения в камере обеззараживания. Например то, что поверхность кварцевых чехлов, имеющая контакт с водой, подвержена обрастанию. Обрастание может быть как органической (био пленка), так и неорганической природы (отложение солей). Степень обрастания зависит от температуры источника излучения и от показателей качества воды, таких как жесткость, щелочность, содержание железа, наличие маслянистых веществ и др. Уменьшение интенсивности излучения из-за обрастания чехлов может достигать до 30 %, а из-за выработки ресурса работы УФ-источника – 15...35 %.

Эффективная работа УФ-оборудования для обеззараживания воды может быть обеспечена только при правильном выборе типа и количества установок, грамотной их эксплуатации.

4.2.3. Расчет установок ультрафиолетового обеззараживания воды

Принципиальные различия в конструкции установок УФ-обеззараживания воды с погруженными и не погруженными источниками излучения вносят некоторые отличительные особенности в методику их расчета [4, 18, 21, 23].

Методику расчета установок с погруженными источниками покажем на примере установки, конструктивная схема приведена на рис. 4.8. В качестве отправной точки при расчете примем обеспечение требования к заданной степени обеззараживания (4.16),

а среднюю бактерицидную облученность $E_{\text{СР}}$ определим по формуле (4.17). Входящие в формулы величины определим исходя из следующих допущений:

– среднее время обеззараживания $\tau_{\text{СР}}$:

$$\tau_{\text{СР}} = l / v_{\text{СР}}, \quad (4.18)$$

где l – длина пути, проходимого водой в зоне действия излучателей, примерно равная длине кварцевого чехла, м; $v_{\text{СР}}$ – средняя скорость течения потока воды, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;

– средняя скорость течения потока воды $v_{\text{СР}}$:

$$v_{\text{СР}} = Q / S = Q / \pi (R^2 - r^2), \quad (4.19)$$

где Q – объем облучаемой воды в единицу времени, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$;

S – площадь сечения потока воды в корпусе, м^2 .

– бактерицидная облученность на поверхности среды E_0 :

$$E_0 = \Phi_{\text{ИСТ}} \eta_{\text{ИСП}} / 2\pi r l, \quad (4.20)$$

где $\Phi_{\text{ИСТ}}$ – поток источников бактерицидного излучения установки, мбк;

$\eta_{\text{ИСП}}$ – коэффициент, учитывающий поглощение УФ-лучей в стекле чехла⁴⁸, принимается равным 0,9.

– толщина слоя облучаемой воды h :

$$h = R - r, \quad (4.21)$$

где R, r – соответственно радиус трубы корпуса и чехла, м;

h – толщина слоя облучаемой воды, м, так как толщина стекла кварцевого чехла незначительна в сопоставлении с размерами R и r .

Выражение $[1 - \exp(-\alpha h)]$ в (4.17) определяет коэффициент поглощения потока бактерицидных лучей (то есть своего рода коэффициент полезного действия) $\eta_{\text{Б}}$:

⁴⁸ Чехол, в который устраиваются источники изготавливают, как правило, из кварцевого стекла, для которого показатель поглощения УФ-лучей примерно равно 10 %.

$$\eta_B = 1 - \exp(-\alpha h) \quad \text{или} \quad \eta_B = 1 - \exp[-\alpha(R-r)]. \quad (4.22)$$

Задавшись значением η_B не сложно определить величину h или $R-r$:

$$h = R - r = \ln(1 - \eta_B) / \alpha. \quad (4.23)$$

Тогда имеем

$$\frac{B}{B_0} = \exp\left[-\frac{E_0 \eta_B l \pi (R^2 - r^2)}{\alpha (R-r) Q H_B}\right], \quad (4.24)$$

или

$$\frac{B}{B_0} = \exp\left[-\frac{\Phi_{\text{ИСТ}} \eta_{\text{ИСТ}} \eta_B l \pi (R^2 - r^2)}{2\pi r l \alpha (R-r) Q H_B}\right] \quad (4.25)$$

и после ряда сокращений

$$\frac{B}{B_0} = \exp\left[-(\Phi_{\text{ИСТ}} \eta_{\text{ИСТ}} \eta_B k_p) / (\alpha Q H_B)\right], \quad (4.26)$$

где $k_p = (R+r)/(2r)$ – коэффициент, учитывающий изменение облученности от диаметра чехла к корпусу.

После логарифмирования (4.26) имеем:

$$\Phi_{\text{ИСТ}} = -[Q \alpha H_B \ln(B/B_0)] / (\eta_{\text{ИСТ}} \eta_B k_p). \quad (4.27)$$

Зная значение необходимого бактерицидного потока источников $\Phi_{\text{ИСТ}}$ для обеззараживания заданного объема воды Q и номинальный бактерицидный поток одного источника $\Phi_{\text{Л}}$ не сложно определить количество источников и электрическую мощность установки. Однако при этом следует ввести коэффициент запаса K_3 , принимаемый равным 1,5...2,2.

Потребное количество источников бактерицидного излучения n для установки обеззараживания воды и их установленная электрическая мощность P_{Σ} равны:

$$n = \Phi_{\text{ИСТ}} K_3 / \Phi_{\text{Л}}, \quad (4.28)$$

$$P_{\Sigma} = n P_{\text{Л}} K_{\text{ПРА}}, \quad (4.29)$$

где $P_{\text{Д}}$ – номинальная электрическая мощность источника, Вт;

$K_{\text{ПРА}}$ – коэффициент, учитывающий потери электрической мощности в ПРА.

Таблица 4.5

Расчетные значения коэффициента сопротивляемости бактерий

Тип бактерий и спор	Значение коэффициента сопротивляемости бактерий $H_{\text{Б}}$, мкб·с·м ⁻²
«Коли»	$2,4 \cdot 10^4$
«Грибок конидиды»	$6,6 \cdot 10^4$
«Сенная палочка»	$10,7 \cdot 10^4$
«Стафилококк»	$4,7 \cdot 10^4$
«Плесень»	$9,9 \cdot 10^4$

Порядок расчета установки для обеззараживания воды:

1. Определяют производительность установки (потребный для обеззараживания объем воды Q).

2. Из конструктивных соображений задаются радиусом наружной поверхности кварцевого чехла r^{49} .

3. Приняв значение коэффициента поглощения потока бактерицидных лучей $\eta_{\text{Б}} = 0,9$ вычисляют толщину слоя обеззараживаемой воды (4.23).

4. Вычисляют радиус внутренней поверхности корпуса R и коэффициент $k_{\text{Р}}$ (4.21, 4.26).

5. По справочным данным определяют коэффициент сопротивляемости данного вида бактерий $H_{\text{Б}}$ (табл. 4.5) и задаются значением степени обеззараживания (4.14).

6. Вычисляют требуемый бактерицидный поток источников установки $\Phi_{\text{ИСТ}}$ (4.27).

7. Определяют требуемое количество источников бактерицидного излучения n и установленную электрическую мощность установки P_{Σ} (4.28, 4.29).

⁴⁹ Если принимается промышленная установка, то учитываются ее реальные размеры, которые требуется вычислить по пп. 2, 3 и 4.

4.2.4. Установки для обеззараживания воздуха

УФ-обеззараживание воздушной среды является санитарно-противоэпидемическим мероприятием, направленным на снижение количества микроорганизмов и профилактику инфекционных заболеваний. Его применяют в помещениях с целью снижения уровня бактериальной обсемененности и создания условий для предотвращения распространения возбудителей болезней.

УФ-бактерицидные установки должны использоваться в помещениях с повышенным риском распространения возбудителей инфекций: в лечебно-профилактических, в том числе ветлечебницах, производственных и общественных помещениях с большим скоплением людей, животных и птицы.

УФ-бактерицидные установки включают в себя бактерицидный облучатель (группу облучателей) с лампами ДБ15, ДБ30, ДБ36, ДБ60. В стационарных установках применяют облучатели ОБН02-30, ББП01-36, УФО01, ОБН-75, ОБН-Щ, ОБНП01, РББ01, ОБУ-1-15 или ОБУ-1-30 и др.

Облучатель бактерицидный ОБН02-30 предназначен для обеззараживания воздуха в административных и общественных помещениях. Его металлический корпус выполнен из стали, окрашенной белой краской. В облучателе предусмотрено два отражателя: диффузный – из стали, окрашенной белой краской; зеркальный с электрохимической полировкой – из алюминия. Облучатель комплектуется электромагнитным или электронным ПРА и бактерицидными лампами типа ДБ30М (ДБ30) или HNS30WOFR (Osram), TUV30W (Philips). Облучатели крепятся на вертикальную поверхность.

Облучатель бактерицидный ББП01-36 предназначен для обеззараживания промышленных и сельскохозяйственных помещений. В облучателе корпус и крышка серого цвета изготовлены методом литья под давлением из стеклонеполненного полиамида. Диффузный отражатель изготовлен из стали, окрашен белой краской и крепится к корпусу двумя поворотными замками из ударопрочного полистирола. Уплотнительный контур между корпусом и крышкой изготовлен из полиуретана. Герметичный ламподержатель (IP65) изготовлен из поликарбоната, при монтаже удобно защелкивается в металлические скобы из нержавеющей стали.

Облучатель комплектуется электромагнитным или электронным ПРА и бактерицидными лампами типа TUV36WT8G13 (Philips) и крепится на вертикальную поверхность.

Установки для обеззараживания воздуха чаще всего устраиваются путем крепления бактерицидных облучателей на стенке помещения, однако в сельскохозяйственных помещениях для содержания животных и птицы могут быть встроенными в систему принудительной вентиляции. Конструкция установок обеззараживания воздуха в системе принудительной вентиляции выполняется аналогично конструкции установок для обеззараживания воды (§ 4.2.2) и может быть с погруженными и не погруженными в воздушную среду источниками (рис. 4.10).

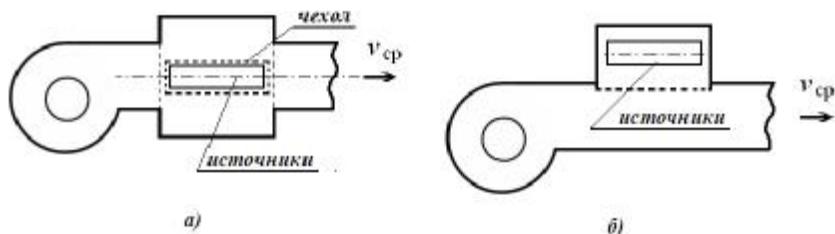


Рис. 4.10. Установки УФ-обеззараживания воздуха помещений с принудительной системой вентиляции с погруженными (а) и не погруженными (б) источниками

Следует отметить, что вопросы проектирования установок для обеззараживания воздуха сельскохозяйственных помещений еще недостаточно разработаны. Поэтому в расчетах используются общие нормы для обеззараживания воздуха в учреждениях [20].

Расчет установок бактерицидного обеззараживания воздуха с принудительной вентиляцией производят по методике, приведенной в § 4.2.3 для установок по обеззараживанию воды с использованием формулы (4.27). При этом степень обеззараживания принимают равным $10^{-2} \dots 10^{-3}$, а коэффициент запаса в зависимости от содержания пыли, дыма и копоти в воздухе – 1,8...3,0.

В помещениях без принудительной системы вентиляции облучатели, как правило, располагают на стене поближе к центру помещения (в складах, овощехранилищах и тому подобных помещениях их располагают равномерно). Если обеззараживание воздуха осуществляется при нахождении персонала в помещении,

то облучатели устанавливают на высоте 1,8...2,0 метра с таким расчетом, чтобы они излучали бактерицидный поток вверх.

Задачей расчета установок, в этом случае, является определение требуемого времени обеззараживания воздуха в данном объеме помещения. Методику расчета покажем на примере помещения, представленного схемой на рис. 4.11, где A , B – длина и ширина помещения, м; H_p – расчетная высота подвеса облучателя, м; l – расстояние от источника до наиболее удаленной точки пространства помещения, м.

При выводе расчетных формул примем во внимание, что бактерицидный поток распространяется от облучателя во все точки пространства. Так как облучатель установлен на стенке, то форму распространения потока можем представить в виде сферы, а точнее полусферы, так как вторая часть полусферы затеняется отражателем облучателя. В этом случае:

$$E = \Phi_{\text{ист}} \eta_{\text{исп}} / S, \quad (4.30)$$

где S – площадь облучаемой поверхности, для рассматриваемого нами случая $S = 2\pi l^2$.

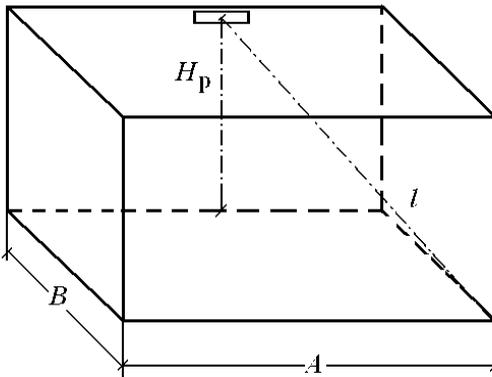


Рис. 4.11. Расчетная схема установки УФ-обеззараживания воздуха помещения без принудительной системы вентиляции

Воспользовавшись выражением для определения облученности поверхности на расстоянии l от источника бактерицидного излучения (4.15) и заменив в нем h на l , получим

$$E_0 = E e^{\alpha l} = \Phi_{\text{ист}} \eta_{\text{исп}} e^{\alpha l} / (2\pi l^2). \quad (4.31)$$

Тогда значение средней облученности $E_{\text{СР}}$ (4.17) можем определить как

$$E_{\text{СР}} = \frac{\Phi_{\text{ист}} \eta_{\text{исп}} e^{\alpha l} (1 - e^{-\alpha l})}{2\pi l^2 \alpha l} = \frac{\Phi_{\text{ист}} \eta_{\text{исп}} (e^{\alpha l} - 1)}{2\pi l^3 \alpha}. \quad (4.32)$$

Подставив полученное выражение в уравнение степени обеззараживания (4.16) и прологарифмировав его имеем

$$\Phi_{\text{ист}} \tau_{\text{СР}} = - \frac{2\pi l^3 H_B \alpha \ln\left(\frac{B}{B_0}\right)}{\eta_{\text{исп}} (e^{\alpha l} - 1)}. \quad (4.33)$$

Уравнение (4.32) является основанием для определения необходимого количества источников бактерицидного излучения n (4.28), их установленной электрической мощности P_{Σ} (4.29) и требуемой продолжительности обеззараживания:

$$\tau_{\text{СР}} = \Phi_{\text{ист}} K_3 / (n \Phi_{\text{л}}), \quad (4.34)$$

где K_3 – коэффициент запаса, зависящий от запыленности поступающего воздуха. При малом содержании пыли, дыма и копоти в поступающем воздухе принимают равным 1,8, среднем – 2,2 и большому – 3,0.

При обеззараживании воздуха следует учитывать тот факт, что минимальная бактерицидная экспозиция для полного уничтожения бактерий в воздухе должна быть не менее $8,3 \text{ мбк} \cdot \text{час} \cdot \text{м}^{-2}$, а ее максимальное значение не должно превышать $40 \text{ мбк} \cdot \text{час} \cdot \text{м}^{-2}$.

При проектировании установок обеззараживания воздуха в продуктовых складах и хранилищах овощей и фруктов, молочных, животноводческих и тому подобных помещений облучатели в помещениях размещают равномерно. При этом удельная мощность установки для больших складов со скоропортящейся продукцией приблизительно должна быть равна $0,3 \dots 0,6$, для малых камер – до 2,5; для вентиляционных камер – до $3,0 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-3}$.

Расчет установки для обеззараживания воздуха в помещении производят в следующей последовательности:

1. Определяют расчетную высоту подвеса облучателя H_p и расстояние от облучателя до наиболее удаленной точки l .

2. По справочным данным определяют коэффициент отражения УФ-лучей материалом отражателя $\rho_{отр}$ (табл. 4.6) и коэффициент поглощения среды α (табл. 4.4).

Таблица 4.6

Значения коэффициентов отражения бактерицидных лучей с длиной волны 253,7 нм

Материал отражателя	Коэффициент отражения, отн. ед.
Алюминий:	
– необработанная поверхность	0,40–0,60
– обработанная поверхность	0,60–0,90
– нанесенный на стекло	0,75–0,85
Краска алюминиевая	0,55–0,75
Сталь нержавеющая	0,25–0,30
Жесть белая	0,25–0,30

3. Приняв за условие обеззараживания воздуха на подавление определенного типа бактерий, например, типа «стафилококк», определяют коэффициент сопротивляемости бактерий H_B (табл. 4.5) и задаются значением степени обеззараживания (§ 4.2.1).

4. Вычисляют коэффициент использования бактерицидных лучей $\eta_{исп}$:

$$\eta_{исп} = [\beta + (360 - \beta) \rho_{отр}] / 360, \quad (4.35)$$

где β – угол отражения, определяется конструкцией отражателя и учитывающий бактерицидный поток, направленный от отражателя на облучаемую поверхность, град. Его значение можно определить как

$$\beta = 180 + 2\gamma \quad (4.36)$$

где γ – защитный угол (3.3, рис. 3.3), град.

5. По формуле (4.32) вычисляют значение $\Phi_{ист}$.

6. По справочным таблицам определяют номинальный бактерицидный поток встроенных в облучатель источников $\Phi_{л}$, их потребное количества n (4.28), установленную мощность P_{Σ} (4.29) и требуемую продолжительность облучения $\tau_{ср}$ (4.33).

7. Проверяют выполнение требований по значениям минимальной и максимальной бактерицидной экспозиции.

4.3. Устройство и характеристики установок инфракрасного обогрева молодняка животных и птицы

Одним из способов создания в холодный осенне-зимний период требуемого зоотехническими нормами температурного режима в помещении для содержания молодняка животных и птицы является их обогрев с использованием источников ИК-излучения.

ИК излучение характеризуется достаточно хорошей проникающей способностью (до 7...8 мм) и при попадании в тело животных или птицы его энергия преобразуется в тепловую, повышая при этом температуру облучаемых тел и создавая комфортные условия для их содержания. Оно вызывает положительные реакции в подкожных слоях тела биологического объекта.

Поглощение ИК-излучения кожным покровом – весьма сложный биологический процесс, в котором принимает участие весь организм животного (птицы) с его терморегуляторным аппаратом. Проникая в кожу и подкожные ткани, излучение вызывает сложную реакцию организма, которая рефлекторно через тепловые рецепторы воздействует на другие органы и процессы. Воздействуя через кожу на нервную систему ИК-излучение улучшает функции желез, кровоснабжение тканей и органов. Повышение температуры тканей способствует ускорению химических реакций и происходящих там биологических процессов, что, в конечном счете, повышает обмен веществ, улучшает питание тканей, ускоряет рассасывание и удаление патологических продуктов.

Установлено, что после воздействия ИК-излучения в организме животных происходит активация кроветворных органов, в крови увеличивается количество эритроцитов, лейкоцитов, содержание гемоглобина, а также появляются активные продукты распада белков. Специфичность воздействия ИК-облучения позволяет

использовать его в терапевтических (лечебных) целях при лечении воспалительных процессов и заживление ран.

Особенно эффективно воздействие ИК-излучения на молодняк животных и птицы, когда их недостаточно развитый терморегуляционный аппарат не способен оказать необходимое сопротивление действию низких температур, что приводит к простудным заболеваниям и даже к гибели. В этом случае прерывистый режим работы ИК-излучателей при попеременном воздействии повышенных и пониженных температур, подвергает сосудистую систему животных своеобразной тренировке и приводит к закаливанию организма. При этом продуктивность повышается в среднем на 10...15 %, а сохранность – на 5...10 %.

ИК-обогрев молодняка животных и птицы наиболее эффективен в сочетании с одновременным УФ-облучением. Совместное действие ИК- и УФ-лучей оказывает большее биологическое воздействие на животных и птицу, чем раздельное УФ-облучение или ИК-обогрев. Например, при использовании одновременного ИК-обогрева и УФ-облучения в телятниках и свинарниках на 15...20 % увеличивается прирост массы молодняка и на 10...15 % – их сохранность.

Известно, что необходимый температурный режим может быть обеспечен системой общего и комбинированного (общего и локального) обогрева. С точки зрения энерго- и ресурсосбережения более целесообразно применение комбинированной системы обогрева, позволяющей создавать повышенную температуру только в небольшой ограниченной зоне нахождения молодняка в первый период выращивания. При этом предпочтительнее в системе локального обогрева применять источники ИК-излучения, обладающие быстродействием и обеспечивающие требуемый температурный режим в зоне обогрева сразу после их включения.

Применяемые в установках источники ИК-излучения подразделяют на «светлые» (ИК-лампы) и «темные» (трубчатые электрические нагреватели, керамические панели с электронагревателями из нихромовых спиралей, газовые нагреватели). Из них в сельскохозяйственном производстве для обогрева молодняка животных и птицы наиболее широко применяют «светлые» источники – лампы ИКЗК220-250, эффективный ИК-поток которых равен 164, ИКЗС220-250-1 – 204 и ИКЗ220-500 – 408 Вт.

4.3.1. Облучатели инфракрасного обогрева животных и птицы

Для защиты источников ИК-излучения от механических повреждений, пыли и влаги применяют специальную арматуру (кожухи, сетки, отражатели), в которой вмонтируют устройства для крепления источников и подключения их к сети. Источник излучения вместе с арматурой называют облучателем. Из отдельных облучателей могут быть созданы установки ИК-обогрева, в которых облучатели объединяются единой схемой управления.

В сельскохозяйственном производстве для обогрева молодняка животных и птицы используют облучатели: ОРИ-1 (ОРИ-2); ОВИ-1 (ОВИ-2); ССП01-250 (ССП05-250, ССП06-250, ССП09-250); ОСХ-01-1000; «ЛатВИКО»; ОКБ-1378А; ЭИ-1,0-И1; ЭИС-0,25-И1 и др. Их технические параметры приведены в табл. 4.7 [21–25].

Таблица 4.7

Технические параметры инфракрасных облучателей

Тип облучателя	Тип источника ИК-излучения	Габариты, мм	Масса, кг
ОРИ-1	ИК3220-500	340×275	1,5
	ИК3220-500-1	320×185	1,5
ССП01-250	ИКЗК220-250 (ИКЗС220-250)	390×330	1,4
ССП05-250		230×310	0,9
ССП06-250		810×230	2,4
ССПО9-250		228×310	0,7
ОРИ-2	ИКЗК220-250, ПС-70/Е-1 1010-375	340×245	2,0
ОВИ-2	ИКЗК220-250	180×320	1,5
«ЛатВИКО»	КГ 220-1000, КИ-220-1000	400×250×220	2,5

Облучатель ОРИ-1 представляет собой конический корпус из листовой стали (рис. 4.12а). Сверху облучателя под пластмассовым колпаком расположен фарфоровый патрон Е40 под ИК-лампу мощностью 500 Вт.

Облучатель ветеринарный ОВИ-1 выпускается под малогабаритную лампу ИК3220-500-1 и от ОРИ-1 он отличается только размерами.

Облучатель ССП01-250 (рис. 4.12б) состоит из пластмассового корпуса и металлического защитного кожуха, покрытого силикатной эмалью, которая легко очищается от загрязнений. Сетка внизу предохраняет лампу от повреждений.

В отличие от ССП01-250 в облучателе ССП05-250 защитный кожух выполнен из пластмассы, между ним и корпусом предусмотрено вентиляционное отверстие.

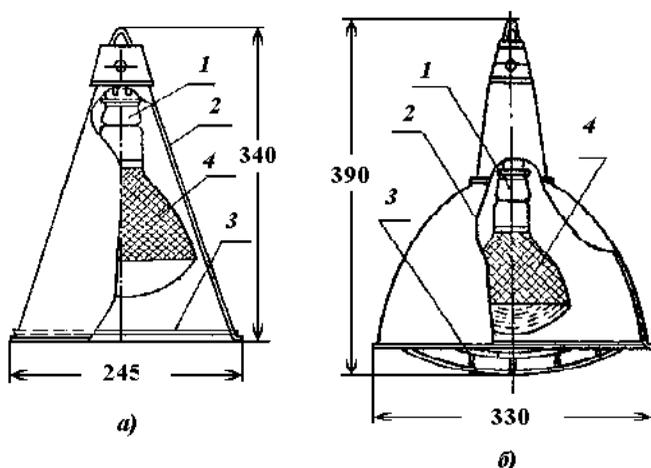


Рис. 4.12. Инфракрасные облучатели ОРИ-1 (а) и ССП01-250 (б): 1 – патрон; 2 – кожух; 3 – защитная сетка; 4 – лампа ИКЗ 220-500

Облучатель «ЛатВИКО» изготовлен из оцинкованной жести. Внутри корпуса расположен отражатель и лампа КГ 220-1000, защищенная сеткой. Облучатель крепится к тросу за проушины корпуса.

Облучатель ОКБ-1378А представляет собой стальной кожух, между двойными стенками которого пространство заполнено теплоизолятором. В кожухе закреплены три ТЭНа мощностью по 0,4 кВт. Каждый ТЭН имеет выключатель, что делает возможным трехступенчатое включение мощности облучателя.

Выбор облучателей для ИК-обогрева молодняка животных и птицы производят по следующим параметрам: типу, мощности, номинальному напряжению, числу и взаимному расположению источников в облучателе; высоте подвеса облучателя; способе регулирования облученности. При этом в обязательном порядке учитывают спектр излучаемого ими ИК-излучения.

Максимальная плотность ИК-излучения у «светлых» источников, температура тела накала которых значительно выше, приходится на диапазон длин волн 1,1...1,2 мкм, в то время как у «темных» на – 4...5 мкм. ИК-излучение от «светлых» источников обладает большей глубиной проникновения и, следовательно, большей эффективностью, которую можно охарактеризовать коэффициентом полезного действия $\eta_{\text{ИК}}$. Коэффициент полезного действия ИК-излучения $\eta_{\text{ИК}}$ представим как отношение ИК-потока, поглощенного кожей животного (птицы) $\Phi_{\text{П}}$, к мощности источника ИК-излучения P :

$$\eta_{\text{ИК}} = \Phi_{\text{П}} / P. \quad (4.37)$$

Коэффициент полезного действия ИК-излучения у «светлых» источников приблизительно равен 0,66, в то время как у «темных» – 0,38. Следовательно с энергетической точки зрения «светлые» излучатели эффективнее, так как их $\eta_{\text{ИК}}$ в 1,7 раза выше. Однако в спектре излучения «светлых» излучателей присутствует значительная доля видимого излучения, которое способно оказать негативное фотопериодическое действие на биологический объект. Поэтому при ИК-обогреве молодняка раннего возраста рекомендуется применять лампы ИКЗК220-250 (ИКЗС220-250), у которых лакокрасочное покрытие колбы красного (синего) цвета предназначено для снижения потока видимого излучения, в то время как более мощные лампы ИКЗ220-500 обычно применяют для обогрева более взрослых особей. Кроме того, установленная мощность ИК-облучателя определяется высотой их подвеса и требуемой площадью облучения. Например, средняя облученность $E_{\text{СР}}$, равная 300 Вт·м⁻², может быть обеспечена одним облучателем с лампой ИКЗК220-250 при высоте подвеса $h = 0,6$ м на площади 0,5 м² или же одним облучателем с лампой ИКЗ220-500 при высоте его подвеса $h = 1$ м на площади 1 м².

Следует отметить, что четких нормативных рекомендаций по выбору типа и мощности облучателей в настоящее время не существует и при равных условиях при выборе предпочтение следует отдавать облучателям (установкам) с автоматизированным управлением.

4.3.2. Расчет установок инфракрасного обогрева животных и птицы

При расчете установок ИК-обогрева молодняка животных и птицы исходят из того, что ощущаемая температура⁵⁰ в зоне их расположения T определяется как результат суммарного воздействия температуры помещения в рассматриваемой зоне T_{Π} и температуры $T_{\text{ИК}}$, создаваемой ИК-излучателями:

$$T = T_{\Pi} + k_1 T_{\text{ИК}}, \quad (4.38)$$

где k_1 – коэффициент «восприятия» ИК-излучения организмом животного (птицы), определяемый состоянием шерстно-перьевого покрова (загрязненности, влажности, окраски).

Температуру помещения в рассматриваемой зоне T_{Π} определяют как результат воздействия на животных (птицу) температуры воздуха $T_{\text{В}}$ и радиационной температуры поверхностей рядом расположенных ограждений $T_{\text{Р}}$, обращенных к месту расположения молодняка (при их наличии):

$$T_{\Pi} = k_2 T_{\text{Р}} + (1 - k_2) T_{\text{В}}, \quad (4.39)$$

где k_2 – полученный экспериментальным путем коэффициент, зависящий от вида помещения и скорости перемещения в нем потока воздуха и равный 0,3 для коровников, 0,42 для свиарников и 0,5 для общественных (жилых) зданий и сооружений.

Значение температуры воздуха в помещении $T_{\text{В}}$ в ряде случаев, например, когда она существенно изменяется по высоте в зоне расположения животных, что имеет место, например, при их содержании на подогреваемом полу, определяют расчетным путем как

⁵⁰ Термин «ощущаемая» температура означает температуру, которую ощущает облучаемый объект при воздействии на него ИК-излучения и окружающей среды. Ее значение регламентируется зоотехническими нормами для заданного вида и возраста животного (птицы).

средневзвешенное значений температур воздуха и поверхности пола, то есть

$$T_B = (T_B - T_{\text{Пл}}) / 2, \quad (4.40)$$

где $T_{\text{Пл}}$ – температура воздуха на уровне пола.

Среднюю радиационную температуру ограждений в зоне расположения животных (птицы) T_P определим как

$$T_P = \sum_{i=1}^n T_{\text{ОГР}_i} S_{\text{ОГР}_i} / \sum_{i=1}^n S_{\text{ОГР}_i}, \quad (4.41)$$

где $T_{\text{ОГР}}$, $T_{\text{ОГР}_i}$ и $S_{\text{ОГР}}$ соответственно средняя радиационная температура и площадь элементов рядом расположенных ограждений, обращенных к месту содержания животных (птицы), в обязательном порядке включая пол. Температуры ограждений $T_{\text{ОГР}}$, за исключением температуры на поверхности пола, как правило, принимают равной средней температуре воздуха в помещении, то есть $T_{\text{ОГР}} \approx T_B$.

Так как значение температуры T задано зоотехническими требованиями, то температура $T_{\text{ИК}}$, создаваемая ИК-излучателями в зоне обогрева, зависит от температуры $T_{\text{Пл}}$ [26]. Следовательно, необходимое значение температуры $T_{\text{ИК}}$ может быть найдено из формулы (4.38):

$$T_{\text{ИК}} = (T - T_{\text{Пл}}) / k_1. \quad (4.42)$$

Температура $T_{\text{ИК}}$ создается ИК-облученностью $E_{\text{ИК}}$ на поверхности обогреваемого объекта. При известном значении $E_{\text{ИК}}$ (или $T_{\text{ИК}}$) значение второго параметра может быть приближенно определено из следующего, полученного экспериментальным путем, выражения:

$$T_{\text{ИК}} = k_3 E_{\text{ИК}}, \quad (4.43)$$

где k_3 – градуировочный коэффициент, равный $0,04 \text{ К} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Вт}^{-1}$.

В зоне ИК-обогрева обычно находится группа животных (птицы), которые занимают определенную площадь $S_{\text{Ж}}$ (рис. 4.13).

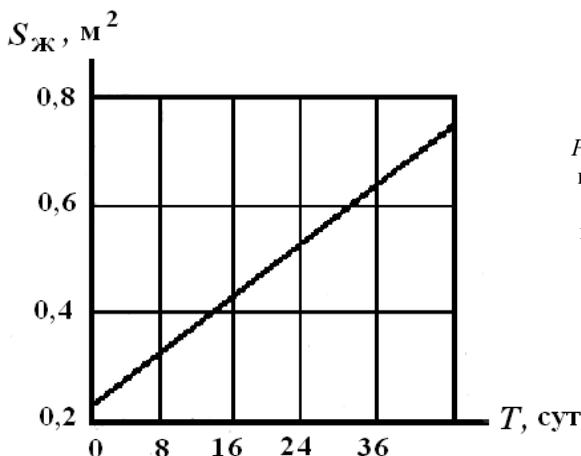


Рис. 4.13. Зависимость площади обогрева $S_{ж}$ от возраста группы порослят из 10 особей

ИК-облученность $E_{ик}$ этой площади, а следовательно, и температуры $T_{ик}$ будут распределены неравномерно. Их максимальные значения, как правило, будут в центре, а минимальные – по краям зоны обогрева. Очевидно, что в расчетах следует учитывать их средние значения, предусматривая при этом, чтобы диапазон между максимальным и минимальным значениями не выходил за пределы значений комфортной температуры, рекомендованной зоотехническими нормами для содержания животных или птицы заданного вида и возраста, и не оказывал заметного влияния на снижение продуктивности и сохранности.

Выбор технических средств ИК-обогрева и принимаемые проектные решения по их размещению обычно осуществляются по максимальному или среднему значению ИК-облученности горизонтальной поверхности. Для нахождения среднего значения ИК-облученности воспользуемся тем, что распределение ИК-облученности под облучателем обладает центральной симметрией (рис. 4.14). Если поле облученности, начиная от центра симметрии, разделить на ряд концентрических окружностей шириной Δr , то $E_{ик, ср}$ определится как

$$E_{ик, ср} = \sum_{i=1}^n \pi (r_i^2 - r_{i-1}^2) E_i / \sum_{i=1}^n \pi (r_i^2 - r_{i-1}^2), \quad (4.44)$$

где E_i – среднее значение ИК-облученности i -й окружности, Вт·м².

При проектировании установок ИК-облучения используют экспериментально полученные зависимости распределения облученности $E_{ИК}$ (температуры $T_{ИК}$), создаваемой облучателем на горизонтальной поверхности, при различной высоте подвеса облучателей или напряжении их питания (рис. 4.15, 4.16). Приведенные зависимости при известном значении необходимой ИК-облученности $E_{ИК}$ (наибольшей или средней) позволяют в зависимости от условия задачи определить значение напряжения питания облучателей при заданной высоте их подвеса, либо требуемую высоту при заданном напряжении питания, а также угол наклона ИК-источников к оси симметрии облучателя.

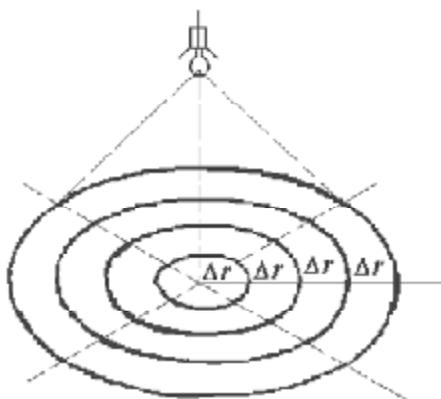


Рис. 4.14. К определению среднего значения ИК облученности горизонтальной поверхности под ИК-излучателем с круглосимметричным светораспределением

Если одного облучателя недостаточно для того, чтобы создать необходимое значение ИК-облученности $E_{ИК}$ (температуры $T_{ИК}$) в зоне содержания животных, то создают (применяют при их наличии) установки из нескольких источников или облучателей. В этом случае распределение ИК-облученности $E_{ИК}$ (температуры $T_{ИК}$) под облучателем из любого числа источников может быть получена путем сложения полей от единичных источников – облученность (температура) в каждой точке поверхности может быть найдена как сумма облученностей (температур), создаваемых в этой точке каждым отдельным источником.

В некоторых случаях с целью увеличения площади поверхности обогрева источники ИК-излучения располагают под углом β к оси симметрии облучателя. При этом ИК-облученность в расчетной точке E_{β} определяют по формуле

$$E_{\beta} = E_0 \cdot \cos \beta, \quad (4.45)$$

или экспериментально полученным зависимостям распределения облученности $E_{ИК}$ (температуры $T_{ИК}$), создаваемой облучателем на горизонтальной поверхности, при различных углах расположения ИК-излучателей в облучателе и высоте их подвеса (рис. 4.17).

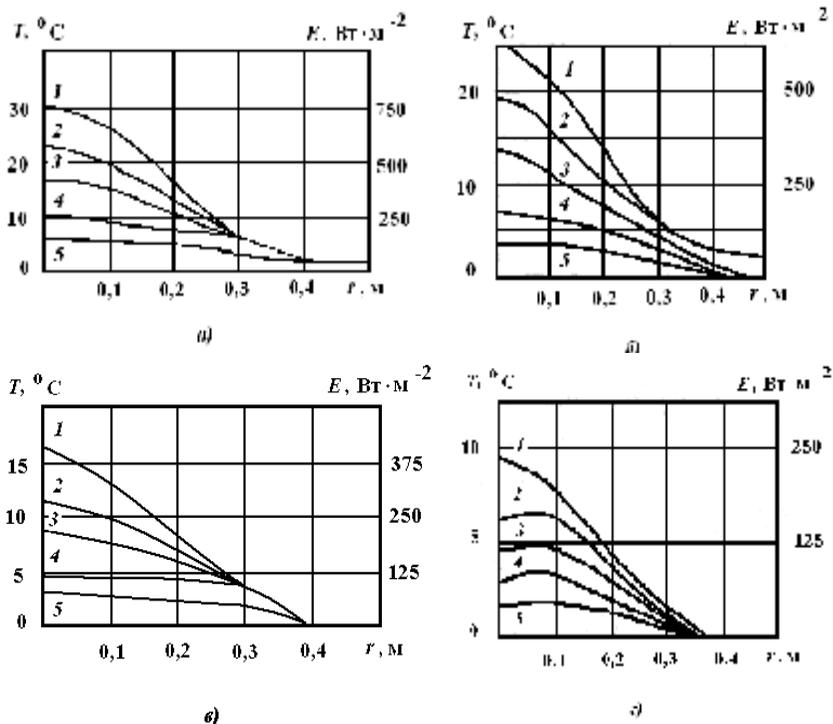


Рис. 4.15. Зависимости облученности под лампой ИКЗК220-250 от расстояния до проекции центра симметрии при: а) $U = 220$ В; б) $U = 180$ В; в) $U = 140$ В; г) $U = 100$ В; 1 - $h = 0,4$ м; 2 - $h = 0,5$ м; 3 - $h = 0,6$ м; 4 - $h = 0,8$ м; 5 - $h = 1,0$ м

В формуле (4.45) E_0 – ИК-облученность в рассматриваемой точке при $\beta = 0$, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$.

Отметим, что приведенные на рис. 4.15...4.17 зависимости распределения облученности $E_{ИК}$ (температуры $T_{ИК}$) от высоты подвеса излучателей могут быть получены и расчетным путем по светотехническим формулам (§ 1.2) при известных кривых распре-

деления силы излучения источников. Для наиболее часто применяемых в облучателях источников ИК-излучения (ламп ИКЗК-220-250, ИКЗС220-250-1 и ИКЗ220-250) кривые распределения силы излучения приведены на рис. 4.18.

К тому же требуемую ИК-облученность можно определить и по эмпирической формуле [4]:

$$E_{\text{ИК}} = (E_0 - GT)(1 - D/L), \quad (4.46)$$

где T – температура содержания животных, °С;

E_0 – оптимальная ИК-облученность для новорожденных животных и птицы, находящихся при температуре T (табл. 4.8);

G – температурный градиент облученности, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$, принимается равным $25 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$ (для ягнят – $13 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$);

D – возраст животного (птицы), сут;

L – число дней полной температурной адаптации животного (птицы) (в среднем равный 100 сут.).

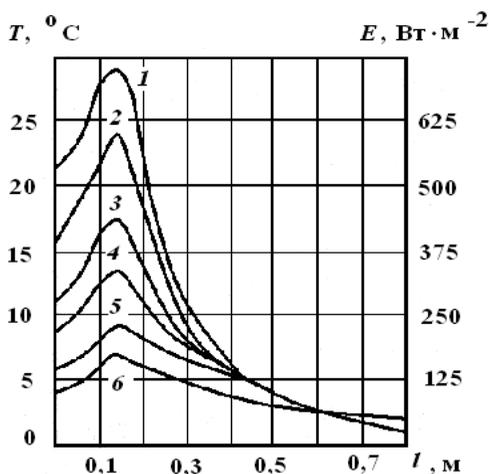


Рис. 4.16. Зависимости облученности под лампой ИКЗ220-500 от расстояния до проекции центра симметрии при $U = 220 \text{ В}$:
 1 – $h = 0,7 \text{ м}$; 2 – $h = 0,8 \text{ м}$;
 3 – $h = 0,9 \text{ м}$; 4 – $h = 1,0 \text{ м}$;
 5 – $h = 1,3 \text{ м}$; 6 – $h = 1,4 \text{ м}$

Приведенная эмпирическая формула (4.46) позволяет получить значение высоты подвеса облучателя h над спинкой животного (птицы) для заданного возраста:

$$h = \sqrt{I_{\alpha_0} \eta_{\text{Л}} P_{\text{Л}} / (1000 E_{\text{ИК}} z)}, \quad (4.47)$$

где I_{α_0} – сила ИК-излучения источника в направлении угла $\alpha = 0$, Вт·ср⁻¹;

$P_{\text{л}}$ – мощность лампы, Вт;

$\eta_{\text{л}}$ – КПД ИК-излучения лампы, примерно равный 0,7...0,85;

z – коэффициент неравномерности облучения, для кривой силы ИК-излучения косинусного Д и глубокого Г светораспределения равный 1,4...1,6, широкого Ш светораспределения – 1,0.

Принимая значение силы ИК-излучения источника I_{α_0} по рис. 4.18 (приведена для конкретного источника в абсолютных единицах измерения) формула (4.47) может быть упрощена:

$$h = \sqrt{I_{\alpha_0} / (E_{\text{ИК}} z)}. \quad (4.48)$$

При расчете установок ИК-облучения молодняка животных и птицы рекомендуется придерживаться следующей последовательности рассмотрения вопросов:

1. По зоотехническим нормам в зависимости от вида и возраста животных (птицы) определяют регламентированное значение температуры T в зоне их расположения.

2. Из норм технологического проектирования для данного вида помещения определяют значение температуры воздуха в помещении $T_{\text{в}}$, которое должно быть обеспечено системой общего обогрева. При существенном изменении температуры воздуха по высоте в зоне расположения животных вычисляют средневзвешенное значение температуры воздуха (4.40).

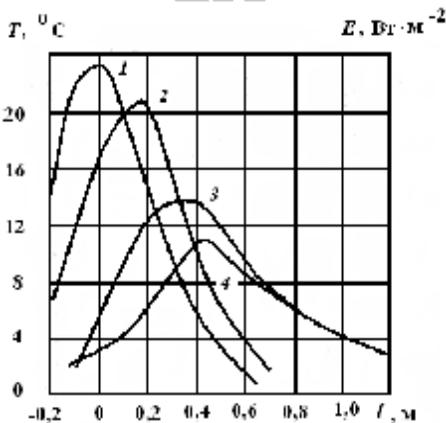


Рис. 4.17. Зависимости облученности при различных углах расположения лампы ИКЗК220-250 в облучателе при

$h = 0,5$ м и $U = 220$ В:

1 – $\beta = 0^\circ$; 2 – $\beta = 20^\circ$;

3 – $\beta = 45^\circ$; 4 – $\beta = 60^\circ$

Оптимальная ИК-облученность для новорожденного молодняка сельскохозяйственных животных и птицы

Вид животных	цыплята	поросята	телята	ягнята	индюшата	гусята и утята
Начальная облученность, E_0 , Вт·м ⁻²	825	700	500	3380	900	710

3. Вычисляют площадь ограждений, рядом расположенных с зоной содержания молодняка, например, ограждений секций или станков, и площадь пола в зоне обогрева.

4. Вычисляют среднюю радиационную температуру ограждений в зоне расположения животных (птицы) T_p (4.41).

5. Вычисляют температуру помещения в рассматриваемой зоне $T_{п}$ (4.39).

6. Определяют температуру, которая должна быть обеспечена ИК-обогревателями (4.42), и необходимую для ее создания среднюю ИК-облученность (4.43, 4.44).

7. Пользуясь зависимостями распределением облученности $E_{ИК}$ (температуры $T_{ИК}$), создаваемой принятым облучателем на горизонтальной поверхности, при различной высоте подвеса облучателей, напряжении их питания или угле расположения ИК-излучателя в облучателе (рис. 4.16–4.17), определяют в зависимости от условий поставленной задачи значение одного из приведенных выходных параметров при зафиксированных двух оставшихся, например, значения напряжения питания облучателей при заданной высоте их подвеса и угле наклона ИК-источников к оси симметрии облучателя.

8. Определяют ИК-облученность и создаваемую температуру в центре и на границе зоны обогрева, проверяют соответствие полученных значений с допустимыми зоотехническими требованиями отклонениями от диапазона значений комфортной температуры для данного вида и возраста животных (птицы).

9. Учитывая, что значение комфортной температуры T в зоне расположения животных (птицы) зависит от возраста по зоотехническим нормам определяют эту зависимость и проводят аналогичные

расчеты для различных возрастных групп. Результатом расчетов должно стать принятие решения, каким образом следует изменять режимы работы ИК-облучателей – увеличивать высоту их подвеса при переводе животных (птицы) в другую возрастную группу, изменять напряжение питания облучателей или иное. Принятое решение оформляется в виде графиков или таблиц, иллюстрирующих зависимости параметров установки ИК-обогрева от возраста животных (птицы).

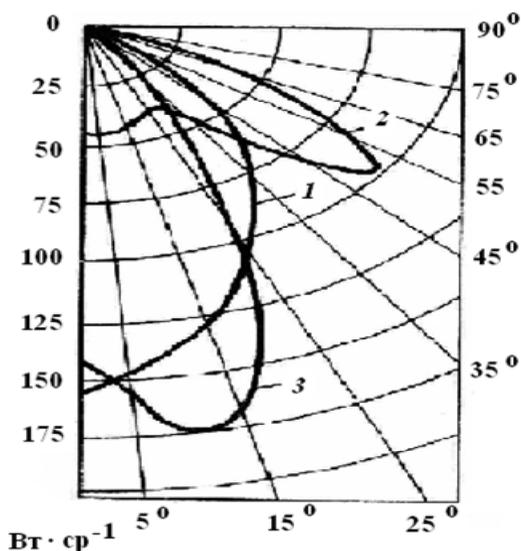


Рис. 4.18. Кривые силы ИК излучения ламп:
 1 – ИКЗК220-250;
 2 – ИКЗС220-250-1;
 3 – ИК3220-250

4.3.3. Комбинированные установки ИК-обогрева и УФ-облучения

Разработаны и серийно выпускаются стационарные установки ИКУФ-1 (ИКУФ-1М), «Луч», «СОЖ» и ЭРИКО-1, предназначенные для местного обогрева поросят-сосунов до 45-60-дневного возраста, телят до 45...120-дневного, ягнят до 60-дневного, молодняка птицы (цыплят, индюшат, утят, гусят) до 20...30-дневного возраста и их витального облучения в течение всего времени содержания. Установки комплектуются 20, 40, 60 или 80 облучателями и шкафом управления. Каждый облучатель содержит две лампы ИКЗК 220-250 и одну (две) УФ (ЛЭ15, ЛЭО15, ДРТ100 или ДРТ2-100).

Шкаф управления содержит аппаратуру защиты и управления облучателями по заданной программе. Время включения в течение суток и продолжительность работы ИК- и УФ-ламп задается с помощью реле времени. Программу на реле устанавливают в соответствии с зоотехническими требованиями.

Облучатели установок ИКУФ-1 и ИКУФ-1М незначительно отличаются по конструктивному исполнению и представляют собой жесткий металлический корпус, на обоих концах которого размещены лампы ИКЗК220-250, а между ними – витальная лампа ЛЭ15 (ЛЭО15) с отражателем (рис. 4.19, 4.20). ПРА витальной лампы установлен сверху на облучателе в закрытом кожухе. В кожухе также размещены три переключателя, позволяющие включать (отключать) ИК-лампы и изменять их режим работы. Снизу облучатель закрыт сеткой. Посредством трехпроводного кабеля и штепсельного разъема он подключается к сети. Подвешивают их над зоной отдыха молодняка на тресе или подвесах из стальной проволоки. Напряжение питания облучателя – 230 В, установленная мощность – 520 Вт.

Схема управления работой установки ИКУФ-1 предусматривает два режима работы: автоматический и ручной. В автоматическом режиме программное включение (отключение) облучателей задается реле времени 2РВМ.

Отличие облучателей установок ИКУФ-1 и ИКУФ-1М в том, что использование герметических патронов и держателей стартера, а также применение резиновых сальниковых уплотнений делает конструкцию облучателей ИКУФ-1М пылевлагозащищенной, на них отсутствуют переключатели, предназначенные для индивидуального управления ИК-обогревом и УФ-облучением молодняка. Общий вид облучателя установки ИКУФ-1М представлен на рис. 4.19.

В установке «Луч» облучатель представляет собой жесткую стальную конструкцию овальной формы. В облучателе на кронштейнах смонтированы две инфракрасные лампы ИКЗК220-250 и одна витальная лампа ЛЭ15 (ЛЭО15) с отражателем (рис. 4.19, 4.20). На облучателе под защитным кожухом расположена ПРА витальной лампы. Снизу облучатель закрыт металлической сеткой. Патроны для включения ИК-ламп уплотнены специальными резиновыми манжетами, ламподержатели витальной лампы выполнены

в брызгозащищенном исполнении. В арматуре облучателя имеется приспособление для его подвески и вводное устройство для питающего кабеля. К сети облучатель подключается через осветительные коробки брызгозащищенного исполнения. Габаритные размеры облучателей – 520×400×245 мм, напряжение питания – 230 В, установленная мощность – 520 Вт.

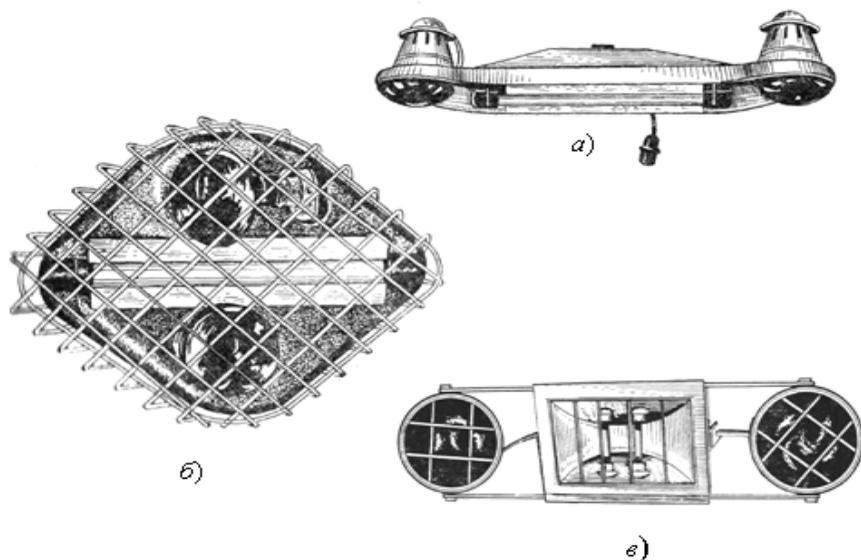


Рис. 4.19. Общий вид облучателей установок ИКУФ-1М (а), «Луч» (б), «СОЖ» (в)

Конструкция крепления ИК-ламп в облучателях установки «Луч» позволяет устанавливать их под углом 45, 68 и 90° к обогреваемой поверхности, что дает возможность более эффективно использовать ИК-поток и более равномерно его распределять по обогреваемой поверхности. Для изменения температурного режима по мере роста молодняка животных или птицы в установке «Луч» использованы регуляторы напряжения питания ИК-ламп – трансформаторы АТ-10 или тиристорный регулятор напряжения. Для питания витальных ламп в схеме управления предусматривается специальный понижающий трансформатор 220/127 В, аналогичный используемому в установке ИКУФ-1.

Дальнейшее совершенствование установок ИКУФ-1 (ИКУФ-1М) и «Луч», направлено на улучшение их эксплуатационных качеств, отработку наиболее целесообразных рабочих режимов и доработку конструкции облучателей – дополнение облучателей ионизаторами воздуха, в том числе с маломощными вентиляторами, замену ламп ЛЭ15 (ЛЭО15) на более мощные, например ЛЭ30 (ЛЭО30), или лампы типа ДРТ небольшой мощности, например, ДРТ 100, ДРТ2-100, ДРТ250 и др., питаемые от сети переменного тока напряжением 230 В и излучающие УФ-лучи диапазона 200...380 нм, ламп ИКЗК220-250 на керамические термоизлучателями типа ЭИС-0,25-И1 «Ирис».

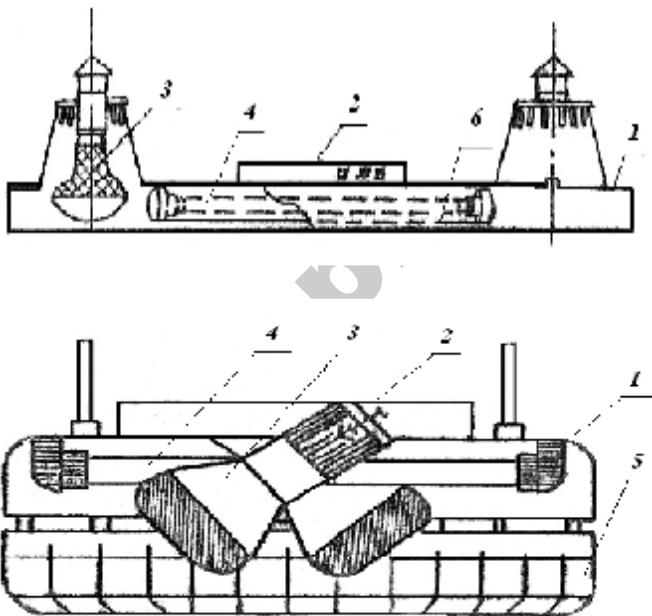


Рис. 4.20. Элементы конструкции облучателей установок ИКУФ-1 и «Луч»:

1 – корпус; 2 – коробка с ПРА; 3 – лампа ИКЗК220-250;

4 – лампа ЛЭ-15 с отражателем; 5 – защитная сетка

На основе УФ-ламп ДРТ100 и ДРТ2-100 разработана установка «СОЖ», облучатель которой имеет две лампы ИКЗК220-250, бактерицидную лампу ДРТ 100 для обеззараживания воздуха и мест

содержания молодняка и витальную лампу ДРТ2-100. Корпуса с лампами ИКЗК220-250 могут отклоняться от вертикального положения на угол до 30°.

Заданный режим работы установки «СОЖ» поддерживается программным устройством, которое вместе с электромагнитными пускателями и коммутирующей аппаратурой расположено в пульте управления. В схемах управления предусмотрено одновременное использование ламп ИКЗК220-250 в качестве балластных сопротивлений ламп ДРТ-100 и ДРТ2-100. Такое решение позволило отказаться от балластных дросселей, понижающих трансформаторов и компенсирующих конденсаторов, что снизило энергоемкость и материалоемкость в сравнении с установкой ИКУФ-1. Габариты облучателя установки «СОЖ» – 800×210×240 мм, пульта управления – 560×245×805 мм. Напряжение питания – 400/230 В.

Для ИК-обогрева и УФ-облучения до 4000 подсосных крольчат, находящихся с самками, 120 свиноматок с поросятами или 120 телят, а также одновременного освещения помещения разработана комбинированная установка ЭРИКО-1, состоящая из 125 ИК-облучателей, 70 пылевлагозащищенных витально-осветительных облучателей с лампами ЛЭ30-1 и ЛБ30, 10 светильников дежурного освещения и шкафа управления.

Для УФ-облучения 200 коров, 12 тыс. кур-несушек или 25 тыс. цыплят при напольном и одноярусном клеточном содержании, искусственного освещения 1600...1800 м² площади помещения и одновременной дезинфекции воздуха в птичниках и коровниках разработана комбинированная установка ОЭРБА, состоящая из 100 витально-осветительных бактерицидных облучателей с лампами ЛЭ30-1, ЛБ30 и ДБ30-1, 10 светильников дежурного освещения и шкафа управления. В установках ЭРИКО-1 и ОЭРБА лампы ЛЭ30-1 и ЛБ30 можно заменить витально-осветительными лампами смешанного излучения типа ЛЭО30.

При эксплуатации установок УФ-облучения и ИК-обогрева высота подвеса облучателей определяется видом и возрастом животных и птицы, а также температурой воздуха в помещении. Например, при обогреве поросят установкой ИКУФ-1М в помещении при наличии системы общего обогрева один облучатель, как правило,

размещают над двумя смежными станками, а при отсутствии системы – по одному облучателю на каждое станкоместо. Высота подвеса облучателей над полом при обогреве порослят в возрасте 1...20 сут и температуре воздуха в помещении 12...14 °С составляет 0,5...0,6 м, при 16...18 °С – 0,6...0,7 м, а при 20 °С – 0,7...0,8 м; в возрасте 20...25 сут и температуре воздуха в помещении 8...10 °С – 0,7 м, 12...14 °С – 0,8 м, 16...18 °С – 0,9 м, 20 °С – 1,0 м. При этом режим ИК-обогрева рекомендуется следующий: в первые 3 дня ИК-лампы включены постоянно; с 3-го до 10-го дня – 45 мин обогрева и 15 мин паузы; с 10-го до 45-го дня – по 30 мин обогрева и паузы [26].

Расчет комбинированных облучательных установок осуществляют в несколько стадий, так как при их эксплуатации необходимо одновременно обеспечить необходимый уровень освещенности рабочей поверхности, витальной облученности и бактерицидного обеззараживания воздуха. При предназначении облучательной установки для одновременного освещения рабочей поверхности, ИК-обогрева и УФ-облучения, бактерицидного обеззараживания воздуха в помещении расчет производят в следующей последовательности – вначале рассчитывают осветительную установку, используя известные методы светотехники, затем последовательно производят расчет установок для ИК-обогрева, УФ-облучения и обеззараживания воздуха. При расчетах пытаются отыскать компромиссное решение максимально удовлетворяющие всем нормативным требованиям.

4.3.4. Особенности управления установками ИК-обогрева

При эксплуатации установок ИК-обогрева следует организовать их управление для обеспечения изменения ИК-облученности $E_{ИК}$ в зависимости от возраста молодняка животных и птицы путем изменения напряжения питания, высоты подвеса облучателей или угла установки ламп в облучателе. При этом необходимо предусмотреть и временное включение (отключение) ИК-излучателей по определяемому возрастом молодняка графику, адаптирующему его терморегуляционный аппарат.

Анализ возможностей управления установками ИК-обогрева позволяет сделать вывод о предпочтении с экономической точки

зрения способа управления изменением напряжения питания, так как другие способы (изменение высоты подвеса и угла установки ламп) являются наиболее трудоемкими, хотя и требуют для их реализации меньших материальных затрат. По своей сути способы изменения ИК-облученности путем изменения высоты подвеса облучателей или угла установки ламп в облучателе являются элементами ручного управления, а не автоматизированного.

При организации управления изменением напряжения питания источников необходимо определить зависимость значения напряжения питания U от заданной зоотехническими требованиями комфортной температуры содержания животных T , определяемой температурой помещения в рассматриваемой зоне T_{Π} (4.38–4.42) и возрастом молодняка $T_{\text{ж}}$ (§ 4.3.2), то есть $E_{\text{ИК}} = f(U) = \psi(T, T_{\Pi}, T_{\text{ж}})$. Так как комфортная температура содержания животных T может быть принята постоянной для заданного вида и возраста молодняка $T_{\text{ж}}$ и задана зоотехническими требованиями, то поставленная задача по своей сущности сводится к определению зависимости $U = f(E_{\text{ИК}}, T_{\Pi})$.

Из уравнений (4.41 и 4.42) следует, что

$$E_{\text{ИК}} = (T - T_{\Pi}) / (k_1 k_3). \quad (4.49)$$

Зависимость $E_{\text{ИК}} = f(U)$, как правило, определяют экспериментально для принятого типа облучателя и высоты его подвеса $h = \text{const}$. Обычно она имеет нелинейный характер (рис. 4.21) и для упрощения закона регулирования, реализуемого в регуляторе, ее принимают за линейную (линеаризуют, например, по методу наименьших квадратов), представляя в виде

$$E_{\text{ИК}} = E_{\text{ср}} + k_4 (U - U_{\text{ср}}), \quad (4.50)$$

где k_4 – коэффициент линеаризации, связывающий $E_{\text{ИК}}$ и U , равный $\text{arctg } \alpha$, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{В}^{-1}$.

Приравняв правые части уравнений (4.49) и (4.50), получим закон регулирования напряжения питания U в зависимости от температуры помещения T_{Π} в рассматриваемой зоне $U = f(T_{\Pi})$:

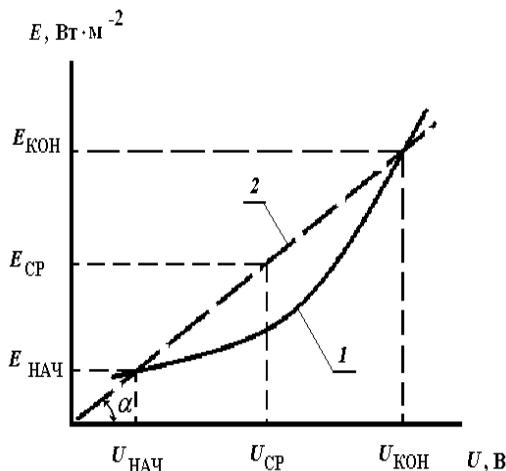


Рис. 4.21. Зависимости ИК-облученности под облучателем от напряжения питания лампы при $h = \text{const}$: 1 – экспериментальная; 2 – линеаризованная

$$U = 1/k_4 [(T - T_{\text{п}})/(k_1 k_2) - E_{\text{СР}}] + U_{\text{СР}}. \quad (4.51)$$

Получив закономерность управления (4.51) подбирают (разрабатывают) подходящий регулятор напряжения и схему автоматического управления, учитывая, что основное назначение установки ИК-обогрева – создание в зоне нахождения животных (птицы) регламентированной зоотехническими нормами температуры T , регулируемой в зависимости от их возраста и вида $T_{\text{ж}}$, а также температуры помещения в рассматриваемой зоне $T_{\text{п}}$. При работе схемы автоматического управления должны решаться следующие локальные задачи:

- включение (отключение) ИК-обогревателей по временному графику, учитывающему возраст животных (птицы);
- задание программным устройством блоку управления режима ИК-обогрева, определяемого видом и возрастом животных (птицы);
- отслеживание первичными преобразователями уровня ИК-облученности в зоне содержания животных и температуры помещения в этой зоне и передача для сравнения блоку управления;
- оценку блоком управления соответствия заданному значению ощущаемой температуры ИК-облученности в зависимости от температуры помещения в зоне расположения животных (птицы), их вида и возраста;

– изменение регулятором напряжения питания ИК-ламп в зависимости от величины и знака сигнала, поступающего от блока сравнения.

Один из вариантов функциональной схемы управления ИК-обогревом молодняка животных и птицы, реализующей указанные задачи, приведен на рис. 4.22.

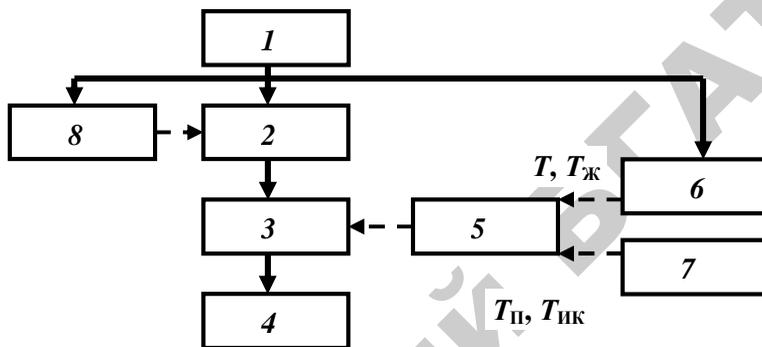


Рис. 4.22. Функциональная схема управления установкой ИК-обогрева:
 1 – источник питания; 2 – блок включения (отключения) облучателей;
 3 – регулятор напряжения инфракрасных ламп; 4 – инфракрасные лампы;
 5 – блок управления; 6 – программное устройство задания T и $T_{ж}$; 7 – первичные преобразователи $T_{п}$ и $T_{ИК}$ в сигнал обратной связи; 8 – реле времени

4.4. Облучение растений в условиях защищенного грунта

В климатических условиях Беларуси выращивание овощей, цветов и рассады осенью, зимой и ранней весной возможно только в условиях защищенного грунта – теплицах и других специальных культивационных сооружениях. Снижение доли естественной освещенности и сокращение продолжительности светового дня в это время необходимо компенсировать дополнительным искусственным досвечиванием (облучением) растений.

Отметим что искусственное облучение растений не может быть заменено каким-либо другим агротехническим приемом или способом выращивания. Только под действием оптического излучения может протекать одна из распространенных в природе фотобиологических реакций – реакция фотосинтеза, при которой энергия

излучения в присутствии молекул воды и углекислого газа трансформируется в химическую энергию органических соединений растений с выделением кислорода – основного фактора формирования земной атмосферы и жизни на земле.

В сельскохозяйственном производстве искусственное облучение применяют для продления короткого естественного светового дня, дополнительного повышения фотосинтетически активной радиации солнечного излучения, создания фитооблученности, достаточной для нормального развития растений в климатических камерах и темных теплоизолированных помещениях. Облучение применяют также для выполнения ряда технологических задач: ускорения роста и развития рассады; выращивания овощей; выгонки овощных растений для получения зеленой массы (салат, петрушка, укроп и др.); разведения и выращивания цветочных культур; ускоренного выведения новых сортов сельскохозяйственных культур и размножения ценного посевного материала в селекционных центрах.

Для создания установок искусственного облучения необходимы определенные дополнительные капитальные вложения, примерно 50...60 % которых приходится на облучатели, из них немногим менее половины – на источники, 20...30 % – на подстанции и распределительные устройства, 14...22 % – на электрические сети. Однако достаточно большие капиталовложения, как правило, окупаются в достаточно короткие сроки, так как обеспечение требуемой светокультуры при выращивании растений позволяет увеличить урожай: огурцов на 20...40 %; томатов на 15...20 %; салата и других овощных растений при получении зеленой массы на 50...70 %.

Из всего спектра оптического излучения на рост и развитие растений преобладающее действие оказывает излучение с длиной волны 300...1000 нм. Излучение с длиной волны менее 300 нм вредно воздействует на рост и развитие растений, а – более 1000 нм оказывает только тепловое воздействие. В зависимости от роли отдельных участков спектра в процессах жизнедеятельности растений внутри указанного диапазона можно выделить спектральные поддиапазоны со следующими физиологическими характеристиками:

1) 300...400 нм (УФ излучение) – играет регуляторную роль в развитии растений и участвует в их формировании. Его присутствие целесообразно в общем лучистом потоке в небольших количествах (несколько процентов);

2) 400...700 нм (видимое излучение) – основная для жизнедеятельности растений область спектра оптического излучения, обеспечивающая протекание реакции фотосинтеза. Излучение указанного диапазона с целью определения необходимых доз в общем потоке иногда делят на поддиапазоны – 400...500 нм («синий свет»); 500...600 нм («зеленый свет»); 600...700 нм («красный свет»).

3) 700...760 нм (длинноволновый «красный свет») – обладает ярко выраженным регуляторным действием. В небольших количествах (несколько процентов) должен входить в состав общего лучистого потока;

4) 760...1000 нм (коротковолновое ИК-излучение) – определяет эффект формирования и вытягивания стебля.

Кроме спектрального состава излучения к наиболее влияющим параметрам оптического излучения на растения следует отнести облученность, количество облучения (экспозицию) и продолжительность суточного облучения (фотопериодизм), временную и пространственную структуру светового поля в зоне нахождения растений.

Излучение спектрального диапазона 400...700 нм, играющее важнейшую роль в протекании реакции фотосинтеза, получило название *фотосинтетически активной радиации* (ФАР). Его фотометрическая оценка основана на энергетической, эффективной (фотосинтетической) или световой системе величин. Система фотосинтетических величин обладает рядом преимуществ, свойственных системам эффективных величин, однако ее практическую ценность для светокультуры растений существенно снижает отсутствие в ряде случаев прямой корреляции между интенсивностью фотосинтеза и продуктивностью растений.

В энергетической системе величин применительно к спектральной области ФАР иногда используют следующие основные и производные величины и единицы их измерения: поток излучения ФАР, Вт; сила излучения ФАР, Вт·ср⁻¹; облученность ФАР, Вт·м⁻²; количество (экспозиция, доза) облучения ФАР, Вт·м⁻²·с. При этом, энергетическая и фотосинтетическая системы величин не связаны друг с другом какими-либо математическими зависимостями, позволяющими производить пересчет

отдельных величин из одной системы в другую без учета спектральных интенсивности излучения источников и чувствительности приемников.

Следует отметить, что энергетическая система оценки излучения приписывает равнозначное действие излучения любого спектрального диапазона в пределах спектральной области ФАР на растения. Однако каждый диапазон спектра, как показано ранее (§ 1.5), оказывает избирательное воздействие на растения. Учитывая избирательность действия отдельных диапазонов спектра, энергетическая система оценки не может быть принятой за универсальную систему, так как принцип универсальности в этом случае не обеспечивает принцип максимальной эффективности. Например, в видимом спектре присутствует излучение, например, фиолетового цвета, которое не может быть признано максимально эффективным для обеспечения наивысшей продукционной деятельности некоторых растений. Так, растения, погибающие при длительном воздействии «красного» света (например, огурец), требуют для обеспечения наивысшей продукционной деятельности ограничения доли красных лучей в спектре излучения, в то время как другие, например томаты, активно растут и плодоносят в красных лучах.

Исследования показывают, что поиск функций спектральной чувствительности для каждого вида растений, не имеет смысла, так как многие виды растений имеют близкие требования к спектру и интенсивности ФАР. Однако оптимальное сочетание цветов в общем спектре излучения, задействованного при облучении растений, должно учитываться при разработке источников. Например, для облучения огурцов допустимое соотношение в области ФАР «синего», «зеленого» и «красного» излучения лежит в соотношении 20:40:40 %, а для томатов – 20:15:65 %. Отметим также, что спектр излучения источников, приближающийся к сплошному, предпочтительнее линейчатого, так как наличие мощных отдельных спектральных линий может выводить процесс фотосинтеза на нелинейный и даже деструктивный уровень.

Надлежащая светокультура растений может быть обеспечена светотехническими установками, к которым предъявляются следующие требования:

– спектр излучения применяемых в облучателях ламп должен соответствовать спектру максимально эффективного (для данного вида растений) протекания реакции фотосинтеза и не содержать угнетающих излучений;

– облученность, создаваемая на поверхности растений, должна быть равномерной и достаточной для их развития и роста;

– облучатели не должны перегревать растения;

– установки должны соответствовать требованиям, предъявляемым к электроустановкам, работающим в помещениях с особой опасностью поражения электрическим током;

– конструкция установки не должна затенять растения от естественного солнечного света.

4.4.1. Установки для облучения растений в условиях защищенного грунта

В настоящее время промышленностью предлагается широкий ассортимент облучателей и установок для облучения растений, разнообразных по конструкции и типу источников оптического излучения. Основные параметры источников оптического излучения, применяемых в этих облучателях и установок, приведены в табл. 4.9.

Люминесцентные лампы нашли применение для облучения растений на стеллажах и лотках, в боксах и камерах, а также при выращивании рассады или цветочных культур в офисных и домашних оранжереях. Они имеют КПД ФАР до 28 %, дешевы, долговечны, доступны, отличаются относительно небольшой температурой колбы в рабочем режиме, что позволяет их размещать на небольшом расстоянии от растений. Однако для них характерны относительно большие габариты, металло- и материалоемкость, малая удельная мощность, которая не позволяет создать высокие уровни облученности. Отметим, что специальные люминофоры, используемые для повышения эффективности излучения этих ламп, существенно расширяют область их использования (лампы ЛФ, ЛФР).

Применяются все еще и ртутные лампы высокого давления с исправленной цветностью (ДРЛФ). Их достоинство – большая концентрация мощности, высокий срок службы и низкая стоимость. Основным недостатком ламп – повышенное излучение в ближней УФ-части спектра и низкий КПД ФАР.

Таблица 4.9

Источники оптического излучения, применяемые в облучателях и установках для облучения растений в условиях защищенного грунта

Тип источника оптического излучения	Мощность, Вт	Габариты (диаметр×длина), мм	КПД в области ФАР, %	Номинальный срок службы, час
Люминесцентные лампы	36	26×1199	23	15000
	58	26×1525	28	15000
	150	40×1525	15	12000
Ртутные лампы высокого давления	125	91×184	10	12000
	400	152×368	12	12000
Натриевые лампы высокого давления	250	48×250	28	15000
	400	48×278	33	20000
	600	48×278	36	20000
	1000	65×400	31	10000
Металлогалогенные лампы высокого давления	400	227×91	24	10000
	1000	208×342	30	3000
	2000	100×420	30	2000
	3000	190×470	24	1500
	3500	100×460	30	1500

Натриевые и металлогалогенные лампы высокого давления отличаются наиболее высоким КПД ФАР, большим сроком службы, благоприятным для фотосинтеза спектром излучения, что обеспечивает им расширяющиеся масштабы использования в облучателях и установках. КПД ФАР натриевых ламп (ДНаТ) достигает 25...35 %. Благодаря чему они получили достаточно широкое применение в теплицах. Основной недостаток ламп – малое излучение в синей части спектра, не превышающее 8 %.

Металлогалогенные лампы лишены этого недостатка. Так, в спектре излучения металлогалогенных ламп с йодидами Sc и Na содержится излучение натрия (желто-оранжевая часть спектра), скандия (синяя, красная) и ртути (синяя, зеленая и желтая). Широкий спектр излучения, регулируемый соответствующими светящимися добавками, высокий КПД ФАР (25...30 %), большой диапазон мощностей (от 250 Вт до 3,5...4 кВт) позволяют эффективно

использовать их при крупномасштабном выращивании овощной, цветочной и другой продукции.

Из многообразия тепличных облучателей, изготавливаемых для установок искусственного облучения растений, отметим только наиболее часто применяемые: ЖСП30 с лампами ДНаЗ⁵¹ (ДНаТ) мощностью 400 или 600 Вт; ЖСП59 и ЖСП70 с лампами ДНаЗ400 (ДНаТ400); ЖСП64 с лампами ДНаЗ600 (ДНаТ600); ЖСП62 и ЖСП70 с лампами ДНаТ400; ЖСП61 с лампами ДНаТ600; ГСП30 с лампами ДРИ модификации 6 мощностью 1000 и 2000 Вт. В тепличных комбинатах можно встретить еще облучатели: ОТ-400 с лампой ДРЛФ400; ОТ-1000 с лампой ДРФ1000; ГСП26-400 и ГСП26-1000 с лампами ДРИ400 и ДРИ1000; РСР26-125 с лампой ДРЛ125; ЖСП18-400 с лампой ДнаТ400 и др.

Сварной корпус тепличного облучателя ЖСП30-400(600)-010У5, его козырек и крышка выполнены из листовой стали и окрашены порошковой краской (рис. 4.23). Электромагнитный дроссель залит полиуретановым компаундом. Напряжение питания – 230 В переменного тока частотой 50 Гц, номинальный ток лампы – 4,6 (400 Вт) и 6,2 (600 Вт) А, потребляемый ток – 2,2 (400 Вт) и 3,2 (600 Вт) А, коэффициент мощности – 0,9. Высота подвеса – 2,0...2,5 м. Светораспределение – П, тип кривой силы света – Ш, КПД – 90 %. Климатическое исполнение – УХЛ1, УХЛ4. Степень защиты – IP53. Кривые силы света облучателей приведены на рис. 4.24, а их технические параметры – в табл. 4.10.

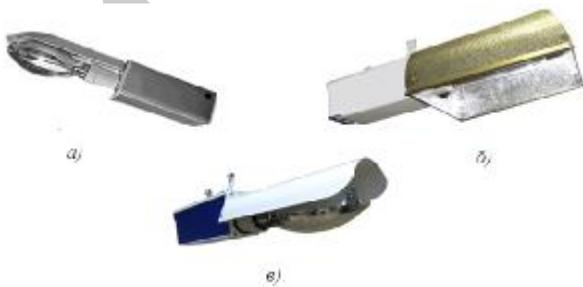


Рис. 4.23. Общий вид тепличных облучателей:
а) ЖСП30-400(600); б) ЖСП61-600; в) ЖСП64-600

⁵¹ Лампа ДНаЗ – газоразрядная лампа высокого давления, натриевая, зеркальная (одна половина по оси симметрии колбы имеет зеркальное покрытие).

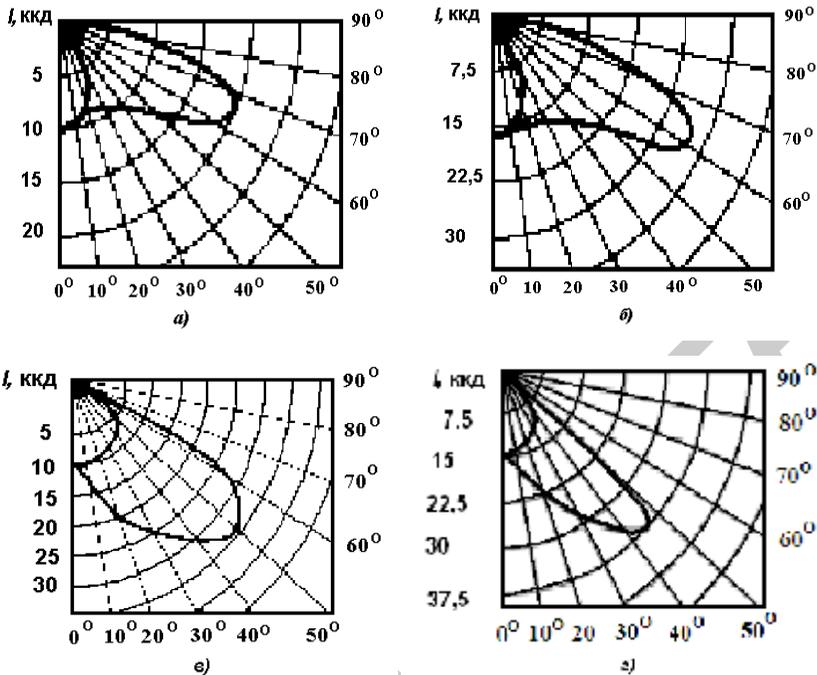


Рис. 4.24. Кривые силы света облучателей серии ЖСПЗ0 и ГСПЗ0 с лампами:
 а) ДНаЗ400; б) ДНаЗ600; в) ДНаТ400; г) ДНаТ600

Таблица 4.10

Технические параметры тепличных облучателей серии ЖСПЗ0

Марка облучателя	Световой поток, клм	Удельная мощность установки, Вт/м ²	Сила света (I_0/I_{45}), кд	Масса, кг
ЖСП 30-400-010У5	50	82–83	10242/26157	8,4
ЖСП 30-600-010У5	74	85–86	16054/34544	10,0

Облучатели ОТ-400 отличаются простотой конструкции и надежностью в эксплуатации. Состоят из корпуса, снабженного узлом подвеса в виде стальной скобы, фарфорового патрона с уплотнением из термостойкой резины, газоразрядной лампы ДРЛФ400,

одного или двух отрезков кабеля КРПТ 3×2,5, один из которых оснащен трехштырьковой вилкой, а второй – трехштырьковой розеткой (рис. 4.25). В корпусе размещается индуктивное или индуктивно-емкостное балластное устройство. Облучатели имеют две модификации: ОТ-400И или ОТ-400МИ и ОТ-400Е или ОТ-400МЕ. Модификации имеют коэффициент мощности около 0,5...0,55, но в одной ток отстает от напряжения, а в другой опережает его, что позволяет при одновременном использовании обеих модификаций получать коэффициент мощности облучающей установки близким к единице.

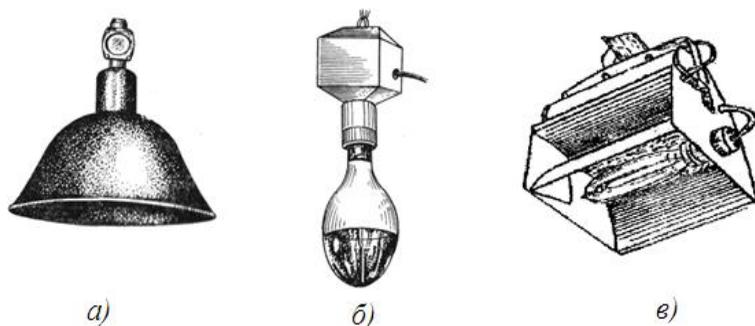


Рис. 4.25. Основные элементы конструкции тепличных установок:
 а) – ГСП26-400 (ГСП26-1000); б) – ОТ-400МИ; в) – ЖСП18-400

Облучатели подключают к однофазной сети напряжением 230 В через вилки и розетки, попарно образуя герметизированные обрезиненные разъемы и допускающие объединение в группу с последовательным питанием и заземлением корпусов до пяти облучателей. КПД облучателей – не менее 90 %, масса вместе с ПРА – не более 8 кг. Габаритные размеры облучателей определяются их модификацией. Например, для облучателя ОТ-400МИ (без лампы ДРЛФ400) они составляют 250×150×115 мм.

Облучатели ГСП26-400 и ГСП26-1000 содержат единый (унифицированный для обоих вариантов) корпус со скобами для монтажа и устройством для одновременного крепления к нему распределительной коробки и патрона. Они комплектуются круглосимметричным отражателем, промежуточным фланцем и Г-образными скобами,

обеспечивающими вентиляционный зазор и крепление отражателя к корпусу. Требуемая степень защиты обеспечивается кольцевым уплотнением лампы из термостойкой резины. Независимое ПРА ламп может быть установлено на расстоянии более 4 м от светильника-облучателя. Габаритные размеры облучателя ГСП26-400 – 540×440 мм, масса без ПРА – 2,8 кг, масса ПРА – 7,5 кг, коэффициент мощности – не менее 0,5, КПД – 70 %, класс светораспределения – П, тип кривой силы света – Д, степень защиты – 5'1, напряжение сети – 230 В, срок службы – 10 лет.

В облучателе ЖСП18-400 корпус выполнен с зеркальными отражателями: основными – цилиндрической формы, и вспомогательными – торцевыми в виде вертикально расположенных плоскостей. На корпусе или отдельно от него крепится блок ПРА с универсальным импульсным поджигающим устройством УИЗУ-220. Узел крепления позволяет подвешивать облучатель на гибком шнуре, тросе, цепи, трубе с помощью хомута. К сети переменного тока напряжением 230 В облучатель подключают с помощью кабеля сечением жилы 2,5 мм². КПД облучателя – не менее 75 %, масса – не более 11 кг, габариты – 450×375×280 мм, степень защиты – IP53. Облучатель комплектуется при поставке лампой ДНаТ400.

Номенклатура и технические параметры тепличных облучателей постоянно совершенствуются. На смену низкоэффективному светотехническому оборудованию разрабатывается и поставляется новое. Так, облучатели с лампами ДНаТ и ДРИ типов ЖСП30, ЖСП59, ЖСП62, ЖСП64, ЖСП70, ГСП26, ГСП30 позволяют с меньшими примерно в 2 раза затратами электрической энергии (в сравнении с облучателями ОТ-400) обеспечить необходимые для интенсивной светокультуры уровни облученности в области ФАР. Облучательные установки с зеркальными газоразрядными лампами высокого давления или зеркальными отражателями позволяют в сравнении с лампами ДРЛФ400, ДРФ1000, ДРВ750 на 40-50 % снизить удельную установленную мощность, в 4 раза затраты труда на обслуживание, примерно в 2,6 раза прямые издержки на эксплуатацию.

Полноценное развитие растений возможно только при обеспечении требуемого уровня искусственной облученности, обязательно учитывающего условия естественной освещенности. Для территории Беларуси при выращивании рассады овощных культур уровень искусственной облученности в области ФАР может быть

принят на уровне $25 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ для огурцов и $30 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ для томатов (6,5 и 7,5 тыс. лк или 8,5 и 10 фит·м⁻² соответственно). Продолжительность облучения рассады – не менее 12...16 час/сут. Примерный период облучения рассады огурцов – 30...40 дней, томатов – 45...50 дней [27].

Уровень облученности растений в фазе плодоношения несколько выше и для условий Беларуси должен быть не менее: для огурцов $40 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$, томатов $48 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ ФАР (10 и 12 тыс. лк или 13,7 и 16,4 фит·м⁻² соответственно). Продолжительность облучения огурцов 12...14, томатов 14...16 час/сут. Для цветочных и декоративных растений необходимо обеспечить уровень облученности в области ФАР до $15...30 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$, а в селекционных теплицах, фитотронах и фитокамерах без естественной освещенности – $100...300 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ и более в зависимости от продолжительности облучения, сроков выращивания, назначения растений и других специальных агротехнических требований [27].

4.4.2. Расчет установок для облучения растений

При искусственном облучении растений требуются весьма высокие уровни облученности. Излучение должно достаточно равномерно распределяться по поверхности, не перегревать растения и не мешать уходу за ними. Выполнение подобных требований возможно только при внимательном подходе к проектированию облучательной установки – размещению облучателей по высоте и в плане стеллажа или теплицы.

Расчеты по размещению облучателей в установках светокультуры растений отличаются от общепринятых в светотехнике методов своим специфическим подходом. В их основу положены кривые силы света излучения тепличных облучателей (рис. 4.24, 4.26) и рекомендуемые значения высоты подвеса над растениями: ЖСП30 – 2...2,5 м; ОТ-1000, РСП15, ЖСП18 – 1,6...2,2 м; РСП26 – 1,5...1,8 м; ОТ-2000 – 1,8...2,4 м; ГСП26 – 2,3...2,5 м; ОТ-400, ССПОЗ-750 – 0,8...1,2 м.

Поскольку установки для досвечивания растений могут быть изготовлены из облучателей с круглосимметричным светораспределением (светораспределение которых после аппроксимации может быть принято за круглосимметричное) или люминесцентными лампами, монтируемыми в кассеты, то и методики их расчетов должны быть различными.

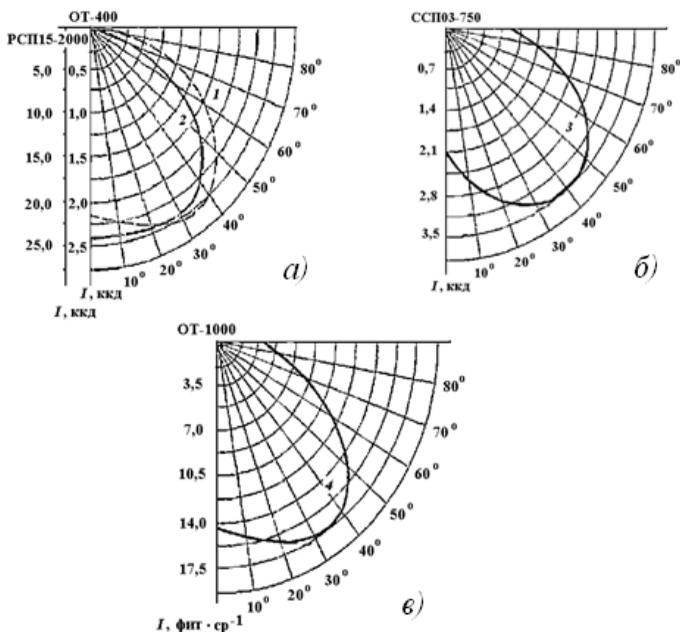


Рис. 4.26. Кривые распределения силы света тепличных облучателей:
 а) ОТ-400; б) ССП03-750; в) ОТ – 1000

Облучатели с круглосимметричным светораспределением при расчете установок для досвечивания растений принимают за точечные. Для таких установок расчет предусматривает определение высоты подвеса облучателей и расстояний между ними. При этом расчет может быть произведен исходя из понятий горизонтальной или сферической облученности.

Горизонтальную облученность $E_{\text{ФГ}}$ определяют по формуле

$$E_{\text{ФГ}} = I_{\alpha} \cos^3 \alpha \cdot K_{\text{ФИТ}} / h^2, \quad (4.52)$$

где $K_{\text{ФИТ}}$ – переводной коэффициент, вводимый тогда, когда расчет производят в фотосинтетической системе величин и единиц измерения, а значение силы света I_{α} приняты по кривым силы света, построенным в единицах измерения световой системы, $\text{фит} \cdot \text{лм}^{-1}$.

При расчете сферической облученности $E_{\text{ФСФ}}$ за основу принимают формулу, при необходимости вводя переводной коэффициент $K_{\text{ФИТ}}$:

$$E_{\text{ФСФ}} = 0,25 I_{\alpha} \cdot \cos^2 \alpha K_{\text{ФИТ}} / h^2. \quad (4.53)$$

Коэффициент 0,25 при определении сферической облученности (4.53) учитывает, что на лист растения поток излучения попадает не только от излучателя на его верхнюю часть, но и на его обратную сторону, отразившись от других листьев или предметов.

В расчетах достаточно точные результаты по определению расстояния между облучателями при заданной высоте подвеса дает графоаналитический метод, заключающийся в следующем.

Облучатель для установки принимают с учетом технико-экономических соображений и, воспользовавшись рекомендуемым диапазоном значений высоты подвеса облучателя принятого типа, задают значение высоты его подвеса h с таким расчетом, что бы облученность в точке проекции облучателя на облучаемую поверхность была больше нормируемой облученности для заданного вида и возраста растений $E_{\text{Н}}$, то есть выполнялось условие

$$h \leq \sqrt{I_0 K_{\text{ФИТ}} / E_{\text{Н}}}. \quad (4.54)$$

В прямоугольной системе координат строят зависимость облученности на расчетной поверхности $E_{\text{ФГ}}$ (или $E_{\text{ФСФ}}$) от расстояния r между проекцией оси симметрии облучателя на поверхность и рассматриваемой точкой (рис. 4.27). Облученность определяют по формуле 4.52 (или 4.53) с использованием справочной кривой силы для принятого облучателя (рис. 4.24, 4.26).

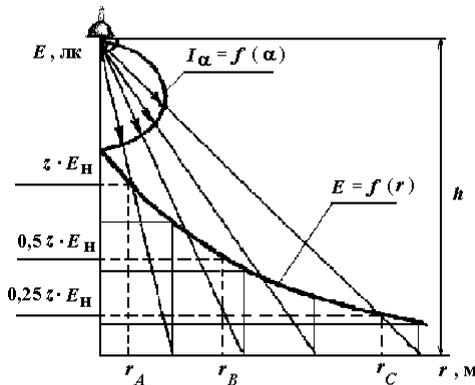


Рис. 4.27. Изменение облученности в зависимости от расстояния между точкой проекции облучателя на облучаемую поверхность и рассматриваемой точкой

По предварительному расположению облучателей на плане теплицы или стеллажа намечают контрольные точки, в которых облученность может оказаться минимальной (рис. 4.28), например, точки A , B и C . Расстояние l от кромки облучаемой поверхности до крайнего ряда облучателей и расстояние между облучателями L определяют из условия, что облученность в любой точке расчетной поверхности E_{ABC} должна быть больше или равна $z \cdot E_H$, где E_H – нормируемая облученность для заданного вида и возраста растений, лк; z – коэффициент неравномерности облучения, значение которого следует принимать в пределах $0,8 \dots 0,9$.

Для определения расстояния l предположим, что на значение облученности в точке A максимальное воздействие оказывает один «близлежащий» облучатель (рис. 4.28). Найдем облученность в точке A по формуле $E_A = z \cdot E_H$ и по кривой $E = f(r)$ (рис. 4.27) определим расстояние r_A , при котором обеспечивается требуемая облученность E_A , и равное по значению l .

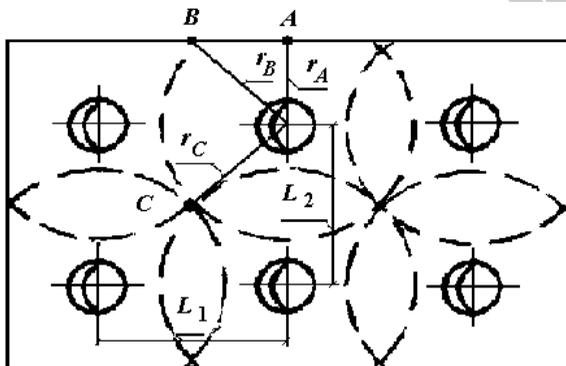


Рис. 4.28. Схема плана размещения облучателей над облучаемой поверхностью

Расстояние L , также определим из требования обеспечения в контрольных точках B и C условия $E_{BC} \geq z \cdot E_H$. Для чего по кривой $E = f(r)$ находим расстояние r_B , при котором в точке B облученность $E_B = 0,5 \cdot z \cdot E_H$ (суммируется от двух источников) и r_C , при котором в точке C $E_C = 0,25 \cdot z \cdot E_H$ (суммируется от четырех облучателей). Значение L определяем из решения прямоугольных треугольников со сторонами r_A , r_B и r_C , то есть

$$L_1 = 2\sqrt{r_B^2 - r_A^2} \quad \text{и} \quad L_2 = 2\sqrt{r_C^2 - r_B^2 + r_A^2}. \quad (4.55)$$

и принимаем равным меньшему из двух полученных результатов.

Зная расстояния l и L komponуем облучательную установку, рассчитывая требуемое количество рядов облучателей N_1 , облучателей в одном ряду N_2 , суммарное количество облучателей в установке N_Σ , их монтажные расстояния и суммарную установленную мощность P_Σ (с учетом потерь в ПРА).

4.5. Энергоэффективные технологии использования оптического излучения в процессах сельскохозяйственного производства

Оптическое излучение эффективно применяют в разнообразных процессах сельскохозяйственного производства, например: при обеззараживании и предпосевной обработке семян; анализе состояния, сортировке и сушке сельскохозяйственной продукции; иницировании направленного перемещения некоторых биологических объектов; дезинсекции тары и др.

Обеззараживание поверхностей и семенного материала. Бактерицидное УФ-излучение применяют и для обеззараживания поверхностей, в том числе тары, посуды, и семенного материала при его предпосевной подготовке. При облучении тару (в зависимости от ее габаритов), посуду и семена располагают на плоской поверхности, на которую воздействуют УФ-излучением.

При выводе формул для расчета установок по обеззараживанию поверхностей воспользуемся уравнением 4.30, подставив в него вместо S формулу, с помощью которой может быть определена площадь, например, $S = \pi \cdot r^2$ для окружности (r – радиус окружности, м), $S = A \cdot B$ для прямоугольника (A , B – длина и ширина его сторон) и т. д.

Следуя последовательности рассуждений, приведенной выше (§ 4.2.4), получаем

$$\Phi_{\text{ист}} \tau_{\text{ср}} = -[S \alpha l H_B \cdot \ln(B/B_0)] / [\eta_{\text{исп}} (e^{\alpha l} - 1)]. \quad (4.56)$$

Далее, как и ранее, по справочным таблицам определяют номинальный бактерицидный поток встроенных в облучатель источников $\Phi_{\text{л}}$, их необходимое количество n (4.28), установленную мощность P_Σ (4.29) и требуемую продолжительность облучения $\tau_{\text{ср}}$ (4.34).

Люминесцентный анализ качества продуктов, основан на использовании явления фотолюминесценции⁵². Известно, что свойства вещества определяются строением его молекул и атомов. Поглощение веществом фотонов оптического излучения приводит к изменению энергии связи внешних электронов молекул и атомов с ядром. При достаточной энергии фотоны способны возбудить молекулы и атомы, в результате чего электроны из внешнего слоя переходят на более высокий энергетический уровень. Если такие молекулы и атомы в течение времени существования в возбужденном состоянии (менее 10^{-8} с) не испытывают внешних воздействий, то они спонтанно люминесцируют (излучают оптическое излучение меньшей длины волны), переходя вновь в равновесное состояние.

Большинство продуктов люминесцирует как в УФ, так и в видимой областях спектра. Однако наиболее удобно в качестве возбуждающего фактора использовать УФ-излучение, которое не смешивается с видимым излучением, возникающим в результате люминесценции.

Наблюдаемые при люминесценции спектры излучения содержат, как правило, большое число полос излучения, обусловленных наличием целого ряда люминесцирующих компонентов. Выделение каждой отдельной полосы излучения с целью идентификации того или иного люминесцирующего компонента возможно только при использовании монохроматического возбуждения и селективной регистрации. Возбужденный цвет люминесценции в зависимости от состояния вещества (качества продуктов) имеет различный спектральный состав и интенсивность, определяемые их химико-биологическим состоянием и составом.

Степень изменения спектрального состава и интенсивности фотолюминесценции определяет глаз наблюдателя или специальный прибор. В первом случае люминесцентный анализ называют субъективным, во втором – объективным. Субъективный анализ менее точен, требует большого навыка, но устройство приборов для его проведения значительно проще. При субъективном анализе состояние вещества (качество продуктов) определяют путем сравнения фактических спектрального состава и интенсивности фотолюми-

⁵² Свечение вещества под воздействием оптического излучения, в частности ультрафиолетового.

несценции с описанием характерных спектров люминесценции (табл. 4.11).

Таблица 4.11

Спектр люминесценции сельскохозяйственных продуктов под воздействием ультрафиолетового излучения

Наименование продукта	Цвет люминесценции	Характеристика продукта
Зерно пшеницы	Зеленый Синий, голубой Желтый	Свежее зерно нового урожая Хорошее зерно Зерно, пострадавшее от сырости
Зерно гороха	Розовый С коричневыми зернами Серый	Здоровое зерно Смесь гороха с пелюшкой Подмоченное зерно
Зерно кукурузы	Ярко-голубой Буро-коричневый	Здоровое зерно Подмоченное зерно
Мука пшеничная	Фиолетовый С темно-оранжевыми точками	С присутствием спорыньи С частицами спорыньи
Мука ржаная	Синеватый	Нормальная
Мука ячменная	Матово-белый	Нормальная
Масло подсолнечное	Голубой с зеленоватым оттенком	Нормальное
Масло сливочное	Канареечно-желтый	Нормальное
Мясо говядины	Темно-красный С ярко-розовыми точками	Нормальное Зараженное личинками глистов
Рыба (лещ, треска, севрюга)	Яркий белый цвет Оранжевые участки и красные пятна	Лежалая рыба Явная порча
Куриные яйца	Красный Слабое голубое свечение	Свежеснесенные Лежавшие не менее двух недель

Принципиальная схема прибора для субъективного анализа качества сельскохозяйственных продуктов приведена на рис. 4.29. Он состоит из камеры 1, в которой установлен источник ОИ (чаще всего ртутно-кварцевая лампа) 3, зеркального отражателя 2 и светофильтра 4. ОИ источника через светофильтр подается на исследуемый объект 5 и излучение люминесценции воспринимаемое глазом наблюдателя 6.

При субъективном люминесцентном анализе сельскохозяйственных продуктов применяют приборы «Люминоскоп Фили», «Луч», «Малютка», «Ультрасвет» и др.

В переносном приборе «Малютка» в качестве источника УФ-излучения использована миниатюрная дуговая ртутная лампа УФО-4А, работающая от постоянного тока напряжением 26 В. Прибор питается от сети переменного тока напряжением 230 В, напряжение на лампу подается через понижающий трансформатор и двухполупериодный полупроводниковый выпрямитель.

В приборе «Луч» применена ртутно-кварцевая лампа СВД-120А номинальной мощностью 120 Вт, которая является источником излучения в видимой и УФ-частях спектра, однако на исследуемый объект через светофильтр подается только УФ-излучение. Напряжение на лампе в рабочем режиме – 125 В, сила тока – около 1 А. Прибор подключается к сети переменного тока напряжением 230 В.

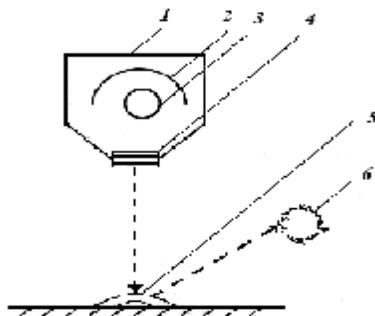


Рис. 4.29. Принципиальная схема устройства прибора для люминесцентного анализа

Предпосевная обработка семян. Для повышения всхожести и энергии прорастания семенного материала его подвергают предпосевной обработке оптическим излучением (видимым, ИК и УФ).

При обработке активизируются ферменты зародыша, что повышает энергию прорастания семян и урожайность зерновых культур. Общий технологический эффект при этом достигает 5...25 % (табл. 4.12).

Технология предпосевной обработки семян реализована в различного вида установках. Так для предпосевной обработки семян зерновых культур УФ-излучением разработана установка УОЗ-2, технологическая схема которой приведена на рис. 4.30. В качестве источников ОИ в установке использованы лампы ДРТ1000 (9 штук), размещенные над поверхностью вибрирующей скатки на высоте 0,65 м. Электрическая мощность установки – 12,5 кВт; производительность – 1...1,5 т·ч⁻¹.

Технология предпосевной обработки семян зерновых культур видимым и ИК-излучением реализована в установке ЭМПОС-2, технологическая схема которой аналогична с установкой УОЗ-3 (отличие в конструкции вибрирующей скатки и типе источников). В качестве источников оптического излучения в установке применены лампы накаливания мощностью 300 Вт, включенные на напряжение 380 В попарно-последовательно и обеспечивающие освещенность на вибрирующей скатке 40...60 клк (16,76 Дж · см⁻²). Электрическая мощность установки – 16 кВт; продолжительность обработки семенного материала – 40...60 с; температура зерна в конце периода обработки – 48...58 °С; производительность – 0,5 т · ч⁻¹; удельный расход электрической энергии – 25...40 кВт ч·т⁻¹.

Таблица 4.12

Показатели технологического эффекта от предпосевной обработки семенного материала ОИ

Объект облучения	Технологический эффект	Эффективность % при длине волны		
		280...320 нм	380–760 нм	>760 нм
Зерно	Урожайность, ускорение созревания на 3...5 дней	5...20	–	10...15
Картофель	Урожайность	–	7...25	–

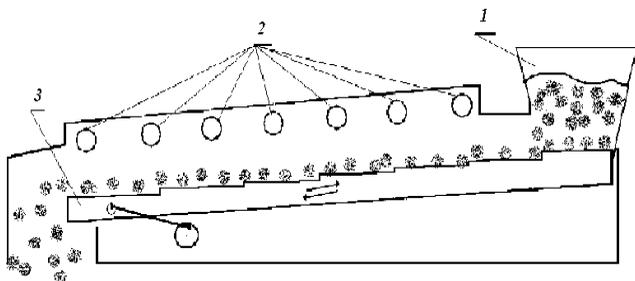


Рис. 4.30. Технологическая схема установки УОЗ-3:
1 – бункер; 2 – источники ОИ (лампы ДРТ 1000); 3 – вибрирующая скатка

Установка для предпосевной обработки семенного картофеля видимым излучением смонтирована на базе сборного транспортера картофелесортировочного пункта КСП-15Б. В установке используются лампы типа ДРЛФ-400, обеспечивающие облученность на поверхности транспортера $214 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$.

Для уменьшения твердосемянности при предпосевной обработке семян вместо воздушно-теплового или солнечного обогрева применяют ИК-облучение. При этом экспозиция ИК-облученности семян составляет 2 мин вместо 5...7 дней при воздушно-тепловом обогреве, облученность на поверхности зерновой насыпи – $40...50 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$, температура нагрева семян – $50...55 \text{ }^\circ\text{C}$.

Процессы фототаксиса⁵³. Оптическое излучение успешно применяют для привлечения (направленного перемещения) таких биологических объектов как насекомые и рыба. Для привлечения насекомых с целью их дальнейшего уничтожения используют УФ-излучение (диапазона 290...380 нм) и отдельные участки видимого излучения диапазона 450...515 нм: 450...480; 465...515; 480...510 и 510...515 нм. Достаточно высокий уровень эффекта «приманивания» рыбы наблюдается в области ($\lambda \approx 460\text{-}620 \text{ нм}$) видимого излучения, при этом наибольший эффект приходится на ее синезеленую область ($\lambda \approx 500 \text{ нм}$).

Процесс фототаксиса в южных районах используют в основном при выращивании фруктов и борьбы с насекомыми-вредителями

⁵³ Фототаксис – фотоиндуцирование направленного движения свободных биологических объектов.

как во время цветения деревьев (яблонь, груш, вишен и др.), так и во время плодоношения вплоть до сбора урожая. Насекомых в ночное время оптическим излучением привлекают к ловушкам, где их уничтожают либо высоким напряжением 1,5...10 кВ, подведенным к специальным сеткам, либо механическим способом (вентиляторами). В качестве источников УФ-излучения используют лампы типов ЛЭ, ДБ и ДРТ.

Для борьбы с насекомыми на больших площадях ловушки с источниками излучения размещают на мобильной технике, например, тракторе, подключая засасывающий вентилятор, использующийся для уничтожения насекомых, и синхронный генератор переменного тока, необходимый для питания источников, к валу отбора мощности. Следует отметить, что подобная технология, используемая взамен химических методов борьбы с насекомыми-вредителями, является экологически безопасной и в сравнении с химическими методами позволяет на 30 % снизить затраты на обработку продукции во время ее выращивания и в 3,8 раза количество ядохимикатов в плодах.

Сушка и нагрев сельскохозяйственной продукции ИК-излучением обладают рядом неоспоримых преимуществ в сравнении с контактным и конвекционным способами. ИК-излучение обладает хорошей проникающей способностью и в процессе теплового преобразования его энергия превращается в энергию колебательного движения молекул приемника. Объемный характер поглощения ИК-излучения приводит к тому, что температура внутри материала может оказаться выше температуры его поверхности. При этом возникающий градиент температуры, направленный изнутри материала приемника, способствует интенсификации процесса удаления влаги или растворителя, сокращению времени обработки. В процессах сушки лакокрасочных покрытий кроме того в самом покрытии протекают сложные физико-химические процессы (полимеризация, поликонденсация), что способствует повышению качества сушки и формированию качественной поверхностной пленки.

При сушке свежесобранного зерна перед закладкой его на хранение рационально использовать ИК-излучение в дополнение к конвекционной технологии сушки. В этом случае энергия ИК-излучения расходуется на быстрый нагрев зерна до температуры

40...50 °С, а горячий воздух в конвекционной сушилке осуществляет интенсивное удаление влаги, снижая влажность зерна до кондиционной нормы (14...15 %). При прочих равных условиях подобная технология комбинированной сушки в 2 раза производительнее конвекционной сушки. Расход электрической энергии при такой технологии сушки составляет 0,5 кВт·ч / кг испаренной влаги или 35 кВт·час/м³ зерна при сьеме влаги до 6 %. Следует отметить, что при ИК-обработке зерна одновременно происходит и его дезинсекция (уничтожение вредителей и их яиц), на 5...10 % повышается энергия прорастания и всхожесть.

Хороший технологический эффект достигается при использовании ИК-излучения в ряде других процессов, например, при сушке листьев табака, хмеля, чая, зерен кофе и какао, выпечке хлеба; обработке материалов животного происхождения, например, рыбы, сушке яблок и фруктов и др. ИК-технология сушки при сокращении продолжительности позволяет получать сухие продукты со сниженной массой и объемом, с почти полным сохранением питательных веществ (кислот, сахаров, каротина, ферментов), витаминов (до 80...90 %), вкуса, цвета и аромата.

Некоторые технологические показатели ИК-сушки фруктов приведены в табл. 4.13.

Таблица 4.13

Технологические показатели сушки фруктов

Показатель	Чернослив	Абрикос	Персики	Яблоки	Груша	Айва
Характеристика плода	Целый	Половина	Половина	Ломтики	Ломтики	Ломтики
Продолжительность сушки, мин	3,0	3,5	4,0	4,0	4,5	6
Расход энергии на 1 кг сырого продукта, кВт·ч	0,72	0,84	0,90	1,40	1,35	2,15

ИК-сушка солода (ячменного и ржаного) в пивоваренной промышленности не только снижает время процесса, но способствует

повышению качественных показателей (вкус, цвет, аромат, ферментативная активность). При сушке рекомендуется переменный режим с повышением температуры воздуха от 50 до 85 °С и снижением влажности с 20 до 3...5 %. Целесообразно применять прерывистое облучение импульсами 2...6 с, чередующимися с периодом отлежки материала (20...60 с), когда через него продувают предварительно нагретый воздух. Комбинированная облучательно-конвективная сушка ускоряет процесс в 1,6 раза по сравнению с конвективной (влажность солода при этом снижается с 72 до 3,5 %). Температура излучателя – 300 °С, расстояние до высушиваемого слоя – 200 мм.

Перспективно применение ИК-излучения при пастеризации молока, позволяющее уменьшить в нем количество микроорганизмов на 99 % при обеспечении хороших вкусовых и питательных качеств. Время пастеризации при этом сокращается в 2 раза в сравнении с его чисто тепловой обработкой. Однако лучший эффект достигается при комбинированной обработке молока ИК- и УФ-излучениями.

Для ИК-нагрева и сушки продуктов применяют установки камерного (объект на заданное время помещается в камеру) или конвейерного (объект размещается на конвейере) типа, в которых в качестве источников ИК-излучения используют лампы типа ЗС и керамические плиты, нагреваемые электрическими спиралями или газом.

При сортировке сельскохозяйственной продукции (плодов, овощей, ягод) учитываются их отличия в окраске (зрелых от незрелых) и форме (поврежденных от неповрежденных). Поэтому принцип действия сортировальных машин основан на оценке оптических свойств исследуемого объекта: отражения, пропускания и поглощения им ОИ различных длин волн, чаще всего видимых и ИК.

Технологическая схема простейшей сортировальной машины приведена на рис. 4.31. Объект, подлежащий сортировке, помещается на ленту конвейера и находясь на ней он подвергается облучению монохроматическим ОИ различных длин волн (например, при сортировке томатов применяют излучение с длинами волн 550, 640 и 660 нм). Отраженное от исследуемого объекта ОИ оценивается в специальном устройстве (анализаторе) по цвету или коэффициентам отражения, после чего в зависимости от полученной информации

поступает команда на один из исполнительных механизмов, например, электромагнитный привод толкателя или заслонки, перемещающий объект, в зависимости от его качества, в заданную емкость (контейнер, ящик).

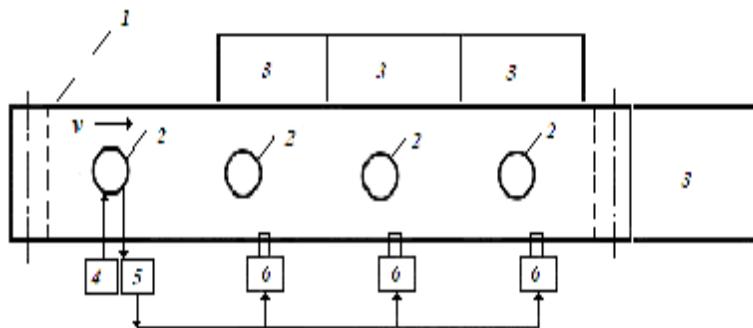


Рис. 4.31. Технологическая схема электрической сортировальной машины:
 1 – лента конвейера; 2 – сортируемый объект; 3 – емкости для хранения отсортированного продукта различного качества (сорта); 4 – источник ОИ; 5 – анализатор отраженной составляющей ОИ; 6 – исполнительные механизмы

На данном принципе промышленностью разработаны фотоэлектрические машины для сортировки томатов по зрелости, яблок по механическим повреждениям, отделения картофеля от пораженных клубней, комков земли и камней.

Дезинсекция продуктов и тары. Обеззараживание зерна и круп различных культур (овса, пшеницы, проса и др.) эффективно методом дезинсекции ИК-лучами, которые оказывают селективное воздействие на обрабатываемый материал, его окружающую микрофлору и насекомых-вредителей. Следует отметить, что спектр поглощения ОИ составляющими микрофлоры и насекомых-вредителей приходится на ИК-область. Поглощенные ИК-лучи нагревают тело облучаемого биологического объекта до температуры сворачивания белка, что приводит к его летальному исходу. ИК-облучение почти полностью уничтожает вредную микрофлору на поверхности зерна. В зерне, нагретом ИК-лучами в течение 1...2 мин до 50...55 °С, погибают во всех стадиях своего развития такие вредители, как клещ, долгоносик, брухус, мукой и др., при этом семенные и продовольственные качества зерна не изменяются.

Технология уничтожения амбарных вредителей и подсушки зерна ИК-излучением реализована в установке, технологическая схема которой приведена на рис. 4.32. Мощность установки – 40 кВт, производительность при обработке зерна – 1 т/ч. В качестве источника ИК-излучения используется вольфрамовая спираль (нагревается до температуры 800 °С). Длительность обработки зерна – до 2 минут, при этом зерно прогревается до температуры 44...52 °С, а вредители уничтожаются из-за более высокого поглощения ими ИК-излучения.

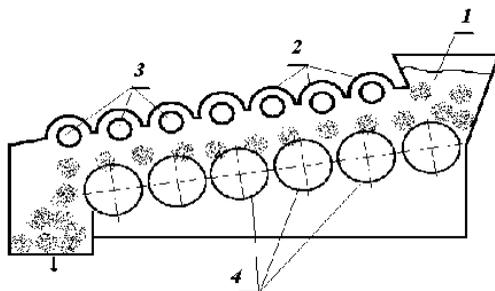


Рис. 4.32. Технологическая схема установки уничтожения амбарных вредителей ИК-излучением:

- 1 – бункер; 2 – отражатели; 3 – нихромовые спирали;
4 – наклонный ряд ребристых барабанов

Дезинсекции можно подвергать не только зерно и крупы, но и тару, например, мешки для хранения сельскохозяйственных продуктов. Для дезинсекции мешкотары разработан передвижной дезинсектор. Установка состоит из корпуса с тепловой изоляцией и бесконечного цепного транспортера с крючками, на которые подвешиваются мешки. Вертикальные плоские ИК-излучатели из нихромовой проволоки нагревают мешки до 100 °С в течение 70 с, и насекомые, находящиеся в ткани, уничтожаются. Потребляемая мощность дезинсектора 12,6 кВт. Производительность – 600...700 мешков в час.

Использование радиационной термометрии в зоотехнии и ветеринарии. Радиационная термометрия базируется на преобразовании ИК-излучения (невидимого для человеческого глаза) в соответствующее ему видимое изображение. Методы радиационной

термометрии широко применяются при диагностике заболеваний животных, например, исследовании переломов, вывихов, ушибов, нарушений периферического кровообращения и наблюдения за ходом заживления поврежденных тканей.

В зоотехнии и ветеринарии применение получили радиационные термометры – приборы, воспринимающие тепловое излучение с того участка тела, на которое направлен их объектив, и воспроизводящие значение радиационной температуры на соответствующем индикаторе, в частности, тепловизионное контрольное устройство с цветовой индикацией теплограмм типа ВКУ-ЦТ. На индикаторе устройства ВКУ-ЦТ приводится теплограмма, на которой перепаду температуры на поверхности исследуемого объекта в 1 °С соответствует изменение цветового тона.

Для контроля температуры животных может быть использован прибор ИМП-3, с помощью которого может быть исследован диапазон температур от –5 до +125 °С с точностью $\pm 0,5$ °С.

Проведение тепловизионных исследований радиационного теплообмена животных показало, что они могут быть использованы и при обосновании оптимальных температур содержания животных. Так исследования указывают, что распределение температурного поля по поверхности животного зависит от температуры окружающего его воздуха. Так, при окружающей температуре +5 °С излучаемая температура на холке коров на 3 °С ниже, чем на пояснице, а при повышении температуры окружающей среды до +10 °С этот перепад составляет только +1,5 °С.

Тепловизорами⁵⁴ можно контролировать состояние электрических установок во время их работы, выявляя места с опасным превышением температуры, и теплопотери зданий и сооружений, выявляя места наибольших теплопотерь для дальнейшего их снижения за счет усиления теплоизоляции.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Расскажите об устройстве и технических параметрах облучателей, используемых в стационарных установках УФ-облучения (ЭСР01-40, ЭО1-30М, ОЭ-1, ОЭ-2, ОЭСР02-2×40 и др.).

⁵⁴ Устройства, с помощью которых ИК-излучение нагретых тел превращается в соответствующее ему видимое изображение, называют тепловизорами.

2. Как определить минимально допустимую высоту подвеса облучателей установок УФ-облучения животных и птицы?

3. Поясните методику расчета стационарных установок УФ-облучения методом коэффициента использования эффективного потока (удельной облученности, точечным). Приведите основные расчетные формулы.

4. Какие факторы (окружающей среды и значений питающего напряжения) следует учитывать при автоматическом управлении установками УФ-облучения с целью обеспечения требований к нормируемой суточной экспозиции?

5. Каким показателем оценивают технологический эффект обеззараживания воды, воздуха, поверхностей и т. п.?

6. По каким критериям различают установки для обеззараживания воды? Приведите основные особенности их устройства.

7. Для чего и каким способом осуществляют обеззараживание воздуха в помещениях?

8. Расскажите об устройстве известных Вам ИК-облучателей, применяемых для обогрева молодняка сельскохозяйственных животных и птицы. Какие ИК-излучатели в них устанавливают?

9. Приведите методику и последовательности рассмотрения вопросов при расчете установок ИК-обогрева молодняка животных и птицы. Какие формулы при этом используются?

10. Какие установки для ИК-обогрева и УФ-облучения животных и птицы Вам известны? Приведите отличительные особенности их конструкций.

11. Каким способом задаются режимы в автоматизированных комбинированных установках ИК-обогрева и УФ-облучения животных и птицы?

12. По каким параметрам осуществляется автоматизированное управление установками ИК-обогрева молодняка животных и птицы? Какие задачи при этом решаются?

13. Перечислите известные Вам облучатели и источники, используемые для искусственного облучения растений. Приведите отличительные особенности их конструкций.

14. Поясните методику расчета установки с круглосимметричными облучателями для искусственного облучения растений.

15. В какой системе эффективных величин и единиц их измерения осуществляют расчет установок для облучения растений

в условиях защищенного грунта? Какие формулы при этом используются для расчета?

16. На каком принципе основана технология люминесцентного анализа качества продуктов?

17. На каком принципе работают установки для привлечения (направленного перемещения) и уничтожения насекомых-вредителей? В чем их преимущества и как они устроены?

18. Чем обусловлена эффективность сушки, нагрева и переработки продукции ИК-излучением?

19. Поясните технологию сортировки сельскохозяйственной продукции с использованием ОИ. В чем преимущества установок, реализованных с использованием указанной технологии? Как они устроены?

5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

5.1. Электрооборудование светотехнических установок

Для изготовления электрической сети светотехнической установки применяют изолированные электропровода, небронированные силовые кабели и электроустановочные изделия – групповые щитки, выключатели и переключатели, штепсельные соединения в виде вилок и розеток, блоки из комбинаций выключателей и розеток, светорегуляторы и другое электротехническое оборудование.

Провода и кабели, применяемые для изготовления электрических сетей осветительных установок (табл. 5.1), различают по материалу проводника (медные или алюминиевые), количеству (от одной до пяти) и площади сечения (от 0,5 до 240 мм²)⁵⁵ токопроводящих жил, материалу изоляции (поливинилхлоридной, полиэтиленовой, наиритовой, резиновой и др.), номинальному напряжению (400, 690 и 1000 В).

Изолированные провода могут иметь поверх изоляции защитную оболочку (провода марок АПРФ, ПРФ, АПРВ и др.) или не иметь ее (марок АПВ, ПВ, АПРТО и др.). Как и у кабелей, защитная оболочка предохраняет изоляцию жил проводов от воздействия света, влаги, химически агрессивной среды и незначительных механических воздействий. Провода с резиновой изоляцией рассчитаны на эксплуатацию при температуре окружающей среды –40...+50 °С, с поливинилхлоридной и полиэтиленовой – –50...+70 °С, а кабели с такими изоляциями оболочек – –40...+60 °С.

При выборе марок проводов и кабелей внимание уделяется материалу изготовления их изоляции и оболочек, которые должны соответствовать способу прокладки, условиям окружающей среды и номинальному напряжению сети. В животноводческих и птицеводческих помещениях, где окружающая среда содержит большую концентрацию аммиака, углекислого газа и влаги, провода с резиновой изоляцией не используются.

Крепление источников оптического излучения к осветительной арматуре и подключение их к электрическим сетям выполняется

⁵⁵ Шкала стандартных сечений токопроводящих жил: 0,5; 0,75; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10; 16; 25; 35; 50 и т. д

с помощью резьбовых патронов Е14, Е27 и Е40 (лампы накаливания, газоразрядные лампы высокого давления, КЛЛ, светодиодные лампы) или специальных ламподержателей под цоколи люминесцентных ламп G5, G13, G23 и др. Патроны Е14 и Е27 изготавливают из пластмассы или керамики. В соответствии с назначением их разделяют на подвесные, арматурные с ниппелем, потолочные и настенные. Они рассчитаны на номинальное напряжение до 230 В и ток до 4 А. Их степень защиты – IP20. Патроны Е40 выпускают только в керамическом исполнении, и они рассчитаны на номинальное напряжение до 400 В и ток до 20 А.

Для коммутации тока до 10 А в осветительных сетях напряжением до 230 В применяют выключатели, штепсельные розетки и вилки.

Таблица 5.1

Основные технические параметры установочных проводов и кабелей, применяемых для изготовления электрических сетей сельскохозяйственных осветительных установок

Марка провода (кабеля)	Характеристика изделия	Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Количество жил
1	2	3	4
ПВ (АПВ)	Провод с медной (алюминевой) жилой и поливинилхлоридной изоляцией	0,5...95	1
ПР (АПР)	Провод с медной (алюминевой) жилой и резиновой изоляцией в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом	0,75...120	1
ПРВ (АПРВ)	Провод с медной (алюминевой) жилой и резиновой изоляцией, в хлопчатобумажной оплетке, пропитанной противогнилостным составом, в оболочке из поливинилхлоридного пластика	1...6	1

Продолжение табл. 5.1

1	2	3	4
ПРТО (АПРТО)	Многожильный провод с медной (алюминиевой) жилой и резиновой изоляцией, в хлопчатобумажной оплетке, пропитанной противогнилостным составом	0,75...120	1, 2, 3, 7, 10
ПРН (АПРН)	Провод с медной (алюминиевой) жилой, резиновой изоляцией и резиновой (наиритовой) оболочкой	1,5...120	1
ПП (АПП)	Провод с медной (алюминиевой) жилой и полиэтиленовой изоляцией	1,5...120	1
ППВ (АППВ)	Провод с медной (алюминиевой) жилой и полиэтиленовой изоляцией, плоский	0,75...4	2, 3
ВВГ (АВВГ)	Кабель с медной (алюминиевой) жилой, поливинилхлоридной изоляцией жил, в поливинилхлоридной оболочке и без защитного покрова (голый)	1,5...50	1, 2, 3, 4, 5
ВРГ (АВРГ)	Кабель с медной (алюминиевой) жилой, поливинилхлоридной изоляцией жил, в резиновой оболочке и без защитного покрова (голый)	1,5...120	1, 2, 3, 4, 5
НРГ (АНРГ)	Кабель с медной (алюминиевой) жилой, в резиновой изоляции и герметической наиритовой оболочке, без защитного покрова (голый)	1,5...120	1, 2, 3, 4, 5
ПВГ (АПВГ)	Кабель с медной (алюминиевой) жилой, полиэтиленовой изоляцией и поливинилхлоридной оболочкой	1,5...50	1, 2, 3, 4, 5
КРПТ	Кабель с гибкой медной, резиновой изоляцией и резиновой оболочкой, переносной	2,5...120	1, 2, 3, 4, 5

1	2	3	4
КРПГ	То же повышенной гибкости	0,75...70	1, 2, 3, 4, 5
ПвВГ (АПвВГ)	Кабель с медной (алюминиевой) жилой жилой и изоляцией из силанольносшитого полиэтилена и оболочкой из ПВХ пластика	1,5...50	1, 2, 3, 4, 5, 6
ПвВГ-П (АПвВГ-П)	Кабель с медной (алюминиевой) жилой и изоляцией из силанольносшитого полиэтилена и оболочкой из ПВХ пластика (плоский)	1,5...50	1, 2, 3, 4, 5, 6

Современные выключатели и розетки изготавливают из ударопрочного пластика с гладкими поверхностями и недоступными для прикосновения токоведущими элементами. Максимально допустимые значения тока и напряжения, на которые рассчитан конкретный тип устройства, указываются на его корпусе. Варианты исполнения выключателей и розеток в основном определяются условиями их эксплуатации (в сыром или сухом помещении), видом проводки (открытая или скрытая), назначением (количеством коммутируемых цепей) и необходимостью в защитном заземлении (занулении). Как правило, они имеют степени защиты от внешних воздействий IP20 (для помещений с нормальными климатическими условиями) или IP44 (брызгозащищенное исполнение для помещений с повышенной влажностью).

Выключатели могут снабжаться встраиваемыми элементами автоматики: для плавного регулирования яркости ламп (светорегуляторы или так называемые диммеры); со встроенным датчиком движения (включают освещение при перемещениях людей в зоне их «видимости» и отключают его спустя некоторое время после прекращения движения) или таймером (реле времени) для включения электроприборов на заданный промежуток времени; с дистанционным управлением (позволяют управлять осветительной установкой на расстоянии с помощью пульта).

По конструкции различают выключатели поворотные, перекидные и кнопочные; по внешнему виду – для открытой и скрытой

проводки. Разновидностью перекидной конструкции являются широко распространенные клавишные выключатели, которые могут быть и так называемыми «проходными» (применяемыми для управления светотехнической установкой с двух мест и отличающимися переключением с одной цепи на другую, а не ее разрывом). В зависимости от количества коммутируемых цепей выключатели бывают одно-, двух- или трехклавишными, но иногда можно встретить изделия с четырьмя и даже пятью клавишами. Для удобства поиска выключателя в темном помещении многие модели снабжены подсветкой на миниатюрной неоновой лампе.

Чаще всего встречается следующее условное обозначение выключателей:

$\boxed{1} - \boxed{2} - \boxed{3} - \boxed{4} - \boxed{5} / \boxed{6}$,

где 1 – буква, обозначающая способ установки (для открытой – О или скрытой – С установки);

2 – цифра, указывающая количество коммутируемых цепей (1, 2 или 3);

3 – буквы и цифры, обозначающие степень защиты изделия от внешних воздействий, например, IP44 (для степени защиты IP20 могут не указываться);

4 – цифры, указывающие номер серии изделия;

5 – цифра(ы), обозначающая номинальный ток коммутации (6 для тока 6,3 А или 10);

6 – цифры, обозначающие номинальное напряжение, например, 230 (230 В).

В качестве поворотных коммутационных аппаратов для управления светотехническими установками при нечастых включениях (отключениях), вводных выключателей и переключателей в схемах распределения электрической энергии применяют и пакетные выключатели (переключатели).

Пакетные выключатели ПВ (переключатели ПП) предназначены для работы в электрических цепях напряжением до 400 В переменного тока с номинальным током до 10 (25, 63, 100 и 160 в зависимости от исполнения) А. Они могут быть одно-, двух- или трехполюсными. Обозначение пакетного выключателя, например, ПВМЗ-100, расшифровывается как: П – пакетный; В – выключатель; М – малогабаритный; 3 – трехполюсный; 100 – номинальный ток 100 А.

Присоединение некоторых электроприемников (переносных светильников, облучателей, электроинструмента и др.) к электрической сети иногда выполняется с помощью двух-, трех- и четырехполюсных штепсельных соединений, состоящих из розетки и вилки с цилиндрическими или плоскими контактами.

Силовые розетки, как и выключатели, изготавливают для открытой и закрытой проводки, с защитными контактами (используемыми для подключения защитного РЕ-проводника) и без них, в простом и брызгозащищенном исполнении. Они бывают одинарные и двойные, а блоки из розеток обеспечивают одновременное подключение нескольких электроприборов. Многие типы силовых розеток оснащены приспособлениями (в основном поворотными или сдвижными подпружиненными заслонками), препятствующими свободному доступу к гнездам. Розетки всегда применяются в паре с вилками, и независимо от их внешнего оформления, способа монтажа и крепления они должны соответствовать друг другу. В противном случае потребуются специальные переходники.

Штепсельные соединения с цилиндрическими контактами изготавливают на номинальные напряжения до 230 В и ток 6 (6,3) и 10 А. Степень защиты таких соединений – IP20. Соединения с плоскими контактами – на ток 10 или 25 А при напряжении до 400 В. Условное обозначение штепсельных соединений серии ВШ:

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

где 1 – буквы, обозначающие назначение изделия (ВШ – вилка штепсельная, РШ – розетка штепсельная);

2 – буква, указывающая тип контакта (ц – цилиндрический, п – плоский);

3 – цифра(ы), указывающая количество контактов (2 – два контакта, 20 – с третьим для подключения защитного РЕ-проводника);

4 – буква, указывающая на особенности ввода проводов (б – боковой, для прямого ввода не приводится);

5 – буквы и цифры, обозначающие степень защиты изделия от внешних воздействий, например, IP43 (для степени защиты IP20 не приводятся);

6 – цифры, указывающие номер серии изделия;

7 – цифра(ы), обозначающая номинальный ток коммутации (6 для тока 6,3 А или 10, 16, 25);

8 – цифры, обозначающие номинальное напряжение, например, 230 (230 В).

Для удобства использования электроустановочные устройства различных видов для эксплуатации в жилых (бытовых, административных) помещениях выпускают смонтированными на общем основании или в общем корпусе. Такие устройства называют комбинированными (блоками). Наиболее типичны различные комбинации розеток и выключателей. Их выпускают для скрытой и открытой проводки на напряжение 230 В со степенью защиты IP20. Использование блоков, особенно включающих в себя слаботочные розетки, упрощает прокладку кабельных линий и проводов.

Для безопасного соединения и скрытия проводки применяют пластиковые разветвительные коробки (табл. 5.2). Они отличаются способами установки, например, могут быть встроенными в скрытые ниши или наружными (навесными).

Для распределения электрической энергии, защиты от перегрузок и токов короткого замыкания, нечастых включений и отключений и учета электрической энергии применяют осветительные щитки, которые могут иметь встроенный в них понижающий трансформатор, предназначенный для подключения переносных светильников и электроинструмента. Также возможны установка устройств защиты от токов утечки, релейная защита от избыточного потребления электроэнергии, а также срабатывание системы оповещения при возгорании или задымлении оборудования.

Таблица 5.2

Основные технические параметры пластиковых разветвительных коробок

Тип коробки	Габариты, мм			Способ установки	Степень защиты
	ширина	высота	глубина		
80×80×50	75	75	50	навесные	IP65
100×100×70	105	105	70		
150×110×70	150	110			
150×150×70	150	150			
190×150×75	185	140	75		
250×190×90	245	185	85		

Современные осветительные щитки, как правило, выполняются на основе модульной аппаратуры, устанавливаемой на DIN-рейки и в боксах, предназначенных для ее установки. Они могут комплектоваться аппаратурой, например, автоматическими выключателями, устройством защитного отключения и др. Их корпус изготавливают из листового металла, окрашенного порошково-полимерным композитом, или негорящего (самозатухающего) термопластика.

Изготавливаемые групповые осветительные щиты отличаются многообразием по конструктивному исполнению, наполнению, маркам и типоразмерам. В производственных и бытовых помещениях сельскохозяйственного назначения, административных и жилых зданиях применяют осветительные щиты типов: ОЩ (щиток осветительный без автоматического выключателя на вводе); ОЩВ (осветительный щиток с автоматическим выключателем на вводе); ЩК (щиток осветительный квартирный); ЩКМ (щиток осветительный квартирный модернизированный); ЩО (щиток осветительный с уменьшенными габаритами); ЯОУ (ящик осветительный групповой); ЯТП (ящик электрический с понижающим трансформатором), ЩР (щит распределительный) и др. (табл. 5.3).

Щитки осветительные серии ЯОУ устанавливают на стене или в нише. Состоят из корпуса и дверцы, которая крепится при помощи петель. На двери установлен замок и резиновые уплотнители. Групповые автоматические выключатели присоединены к вводным выключателям или шинам. В верхней и нижней частях щитка имеются съемные крышки, через которые осуществляется ввод и вывод электрических кабелей (проводов). Температурные условия эксплуатации $-50...+40$ °С при относительной влажности до 98 %. Щитки монтируются в невзрывоопасных зонах, не содержащих агрессивных газов и паров. Степень защиты – IP54 или IP20, климатическое исполнение и категория размещения – УХЛЗ.

Щитки групповые осветительные серий ЯРН и ЯРУ предназначены для установки в производственных и административных помещениях. Структура их условного обозначения ЯРН8501-3701 ХЛЗАП: Я – вид щитка по конструкции (ящик); Р – распределительный; Н(У) – вид установки (Н – навесной, У – утопленный); 8 – класс НКУ (ввод и распределение электрической энергии); 5 – группа НКУ (распределение электрической энергии с применением

автоматических выключателей переменного тока); 01 – номер разработки; 37 – исполнение по току (37 – 50 А, 38 – 63 А, 40 – 100 А и т. д.); 01 (28) – исполнение по сочетанию комплектующих аппаратов; ХЛЗ – климатическое исполнение и категория размещения; А – степень защиты по ГОСТ 14254; П – исполнение для возможности их параллельного соединения.

Таблица 5.3

Технические параметры некоторых осветительных групповых щитков серий ОП, ОЩ, ОЩВ, УОЩВ, ЩО (серии 8505), ЯОУ, ЯРН и ЯРУ

Тип щитка	Автоматический выключатель на вводе (тип, ток)	Групповой автоматический выключатель		Способ установки
		тип (ток, А)	количество	
ОП-6УХЛ4	зажимы	АЕ1000	6	навесной
ОП-9УХЛ4			9	
ОЩ-6УХЛ4		А63	6	
ОЩВ-6УХЛ4	АЕ2046-10	А3161	6	навесной
УОЩВ-6УХЛ4			6	встроенный
ЩО8505-0206(0309)	зажимы	ВА61F29-1В (31,5)	6	навесной
ЩО8505-0209(0309)		ВА61F29-1В (20,0)	9	
ЩО8505-0406	ВА61F29-С3 (63)	ВА61F29-1В (31,5)	6	
ЩО8505-1212	зажимы	ВА61F29-1В (16,0)	12	
ЩО8505-1409	ВА61F29-С3 (63)	ВА61F29-1В (20,0)	9	навесной
ЩО8505-1412		ВА61F29-1В (16,0)	12	
ЩО8505-1603		ВА61F29-1В (63,0)	3	
ЩО8505-1604		ВА61F29-1В (31,5)	4	
ЩО8505-1605		ВА61F29-1В (31,5)	5	

Тип щитка	Автоматический выключатель на вводе (тип, ток)	Групповой автоматический выключатель		Способ установки
		тип (ток, А)	количество	
ЯОУ-8501	ПВЗ-60*	АЕ1031-1	6	навесной
ЯОУ-8502	ПВЗ-100*		12	
ЯОУ-8505	ПВЗ-60*	АЕ1031-1	6	встроенный
ЯОУ-8506	ПВЗ-100*		12	
ЯОУ-8507	зажимы	АЕ1031-1	8	
ЯОУ-8508			12	
ЯРН8501-3801		ВА14-26**	6	навесной
ЯРУ8501-3801			6	встроенный
ЯРН8501-3811	ПВП11-2970*	ВА14-26***	1	навесной
ЯРУ8501-3811		ВА14-26**	3	
		ЯРН8501-3812	ВА14-26***	1
ЯРУ8501-3812	ВА14-26		3	
		ВА51-31	ВА14-26	6
6	встроенный			
ВА14-26***	1		навесной	
	3			
	ВА14-26***		1	встроенный
3				

* – пакетный выключатель; ** – однополюсный; *** – трехполюсный.

Щитки осветительные групповые ЩО изготавливаются из металла с нанесением полимерного покрытия серого или белого цветов. Количество линейных автоматических выключателей – до 48 модулей (однофазные и трехфазные группы с устройством защитного отключения (УЗО) или без – комбинация). Исполнение по способу установки – навесное и в нишу. Степень защиты – IP40, категория размещения – УХЛЗ.

В последнее время изготавливают и применяют пластиковые и металлические боксы, в которых предусмотрены места и крепления для установки в них DIN-реек, нулевых (N) и защитных (PE) шин. Боксы позволяют наполнять их необходимым для изготовления модульным электрооборудованием (счетчиками электрической энергии, автоматическими выключателями, устройствами защитного

отключения, дифференциальными автоматическими выключателями и др.). При этом наполнение может осуществляться на местах монтажа электрических сетей в соответствии с требованиями конкретных схем управления технологическим оборудованием и распределения электрической энергии.

Боксы предназначены для изготовления групповых или распределительных щитов производственных, административных, бытовых и жилых светотехнических установок. Многовариантность исполнения по возможности наполнения (количеству встраиваемого электрооборудования), степени защиты (IP20...IP65), климатическому исполнению, способу установки (встраиваемые и навесные), размерам, используемому для изготовления материалу и т. д. способствует их широкому применению.

Корпус пластикового бокса выполнен из негорючего или самозатухающего пластика (табл. 5.4). Высокая степень защиты, в частности IP65, позволяет их устанавливать в помещениях с повышенной влажностью и загрязненностью окружающей среды. Некоторые из них позволяют при необходимости осуществлять опломбировку автоматических выключателей и низковольтной аппаратуры.

Таблица 5.4

Основные технические параметры пластиковых боксов типов TSM и WAY

Тип бокса	Габариты, мм			Способ установки	Степень защиты
	ширина	высота	глубина		
TSM INSIDE 6P	172	222	30	встраиваемые	IP40
TSM INSIDE 10P	245				
TSM INSIDE 12P	280				
TSM INSIDE 18P	399	252			
TSM OUSIDE 6P	150	200	95	навесные	IP40
TSM OUSIDE 10P	220		90		
TSM OUSIDE 12P	255		100		
TSM OUSIDE 36P	270	460	100		
4 WAY	142	210	100	навесные	IP65
8 WAY	211				
12 WAY	295	250	140		
18 WAY	410				

В групповые и распределительные щиты для управления электрическими сетями светотехнических установок устанавливается необходимая электроаппаратура: автоматические выключатели серий ВА47, ВА61, ВМ63 и др.; УЗО серии У1-63, УЗО-Д63 и др.; дифференциальные автоматические выключатели серий АД-2, АД-4, АД-30 и др.; однофазные или трехфазные счетчики электрической энергии; DIN-рейки, нулевые (N) и защитные (PE) шины.

Автоматические выключатели серии ВА47 предназначены для сетей с частотой тока до 50 Гц, номинальным напряжением 230/400 В и током до 125 А. Используются для защиты низковольтных электрических сетей от перегрузки и короткого замыкания, а также для оперативного управления участком электрической цепи (нечастых ручных включений и отключений электроприемников). Производятся в одно-, двух-, трех- и четырехполюсном исполнении. В конструкцию ВА47 входят тепловой и электромагнитный расцепители. Предусмотрена также защелка с фиксацией для монтажа на DIN-рейку.

Автоматические выключатели типоразмера ВА47 рассчитаны на ток до 63 (100) А. Их степень защиты – IP20, условия эксплуатации – УХЛ. Структура условного обозначения ВА47-63 Х1Р Х2 следующая: ВА47 – серия автоматических выключателей; 63 – номинальный ток контактной группы, А; Х1 – количество полюсов (от 1 до 4); Х2 – номинальный ток расцепителя, А.

Устройство защитного отключения (УЗО) предназначено для сетей с частотой тока до 50 Гц, номинальным напряжением 230/400 В и током до 100 А. Используется для защиты человека (животных) от поражения электрическим током при случайном прикосновении к открытой проводке или токоведущим частям электрооборудования и для предотвращения возникновения пожаров вследствие протекания токов утечки на землю. По условиям функционирования подразделяются на: не зависящие от напряжения сети – электромагнитические с током утечки 10, 30, 100, 300 мА; зависящие от напряжения сети – электронные с током утечки 30 мА. УЗО работает на основе фиксации дифференциального тока (разницы между прямым и обратными токами), возникающего при его утечке на землю.

УЗО производят в двух- (для однофазной нагрузки), трех- (для двухфазной нагрузки) и четырехполюсном (для трехфазной нагрузки)

исполнении. Рекомендуется использовать совместно с автоматическим выключателем.

В конструкции УЗО предусмотрена защелка с фиксацией для монтажа на DIN-рейку. Номинальный ток – 16...100 А, отключающий дифференциальный ток – 10, 30, 100 или 300 мА. Максимальное сечение коммутируемых проводов – 25 мм². Степень защиты – IP20, IP25, IP40, климатическое исполнение – УХЛ.... Структура условного обозначения: ВД-63 X1 X2 X3, где ВД-63 – тип УЗО; X1 – число полюсов; X2 – номинальный ток, А; X3 – номинальный дифференциальный отключающий ток, мА.

Дифференциальные автоматы (АД) – быстродействующие защитные выключатели, используемые для защиты человека (животных) от поражения электрическим током при случайном прикосновении к токоведущим частям электрооборудования при повреждении изоляции, предотвращения пожаров вследствие протекания токов утечки на землю, защиты от перегрузок и короткого замыкания. То есть их конструкция сочетает в себе три функции: автоматического выключателя с защитой от тока перегрузки и тока короткого замыкания; устройства защитного отключения, которое управляется дифференциальным током и обеспечивает защиту от тока утечки на землю; устройства, включающего встроенный блок защиты от перенапряжения более 270 В. Они предназначены для сетей с частотой тока до 50 Гц, номинальным напряжением 230/400 В и током до 63 А.

Дифференциальные автоматы рассчитаны на номинальный ток – 6...63 А. Номинальное значение отключающего дифференциального тока – 30 мА. В них предусмотрено максимальное сечение коммутируемых проводов – 25 мм². Их степень защиты – IP20 и условия эксплуатации – УХЛ.... Структура их условного обозначения в основном включает четыре позиции: X1 X2P X3 X4, где X1 – тип дифференциального автомата (АД-2, АД-4, АД-30 и др.); X2 – число полюсов; X3 – номинальный ток, А; X4 – номинальный дифференциальный отключающий ток, мА. Например: ДА-8 2P 6А 30 мА, ДА-14 4P 10А 10 мА и т. д.

Принципиальные схемы включения электрооборудования при использовании автоматических выключателей, устройства защитного отключения и дифференциальных автоматов приведены на рис. 5.1...5.3.

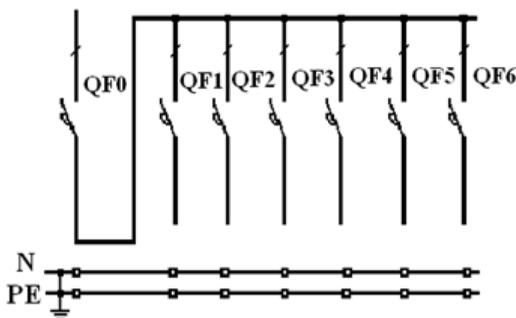
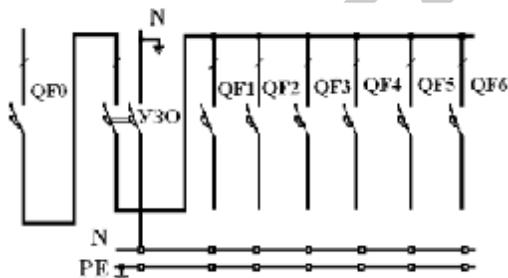


Рис. 5.1. Схема электрическая принципиальная осветительного щита без УЗО:
 QF0 – вводной автоматический выключатель;
 QF1...QF6 – групповые автоматические выключатели

Рис. 5.2. Схема электрическая принципиальная осветительного щита с УЗО:
 QF0 – вводной автоматический выключатель;
 УЗО – устройство защитного отключения; QF1...QF6 – групповые автоматические выключатели



Для перераспределения электрической энергии, защиты от перегрузок и коротких замыканий групповых линий силового и светотехнического электрооборудования используют распределительные шкафы, пункты и устройства серий ПР11, ПР41, ЩУР, ЩРУН, ЩУР, ЩУ, ЩЭ, РУС-Е и др.

Шкафы распределительные серии ПР11 предназначены для эксплуатации при температуре от -40 до $+40$ °С и относительной влажности воздуха до 80 %. Структура их условного обозначения включает: ПР X1-X2 X3-X4 X5X6, где ПР – шкаф (пункт) распределительный; X1 – номер серии (21); X2 – конструктивное исполнение (1 – встроенный в нишу, 3 – навесной, 7 – напольный); X3 – условный номер схемы подключения электрооборудования как внутри шкафа, так и к подводящей сети; X4 – степень защиты (21 – IP21 и 54 – IP54); X5 – климатическое исполнение (У); X6 – категория размещения (1, 3). Например: ПР11-1124-21 У3.

Шкафы изготавливают с автоматическими выключателями на вводе или вводными зажимами на напряжение 400 или 660 В. В корпусе установлены автоматические выключатели серий АЕ

или 3700, отличающиеся повышенной коммутационной способностью, износостойкостью и возможностью обеспечения селективной защиты.

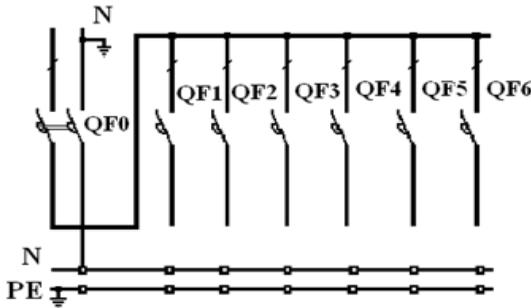


Рис. 5.3. Схема электрическая принципиальная осветительного щита с дифференциальным автоматом: QF0 – вводной дифференциальный автоматический выключатель; QF1...QF6 – групповые автоматические выключатели

Пункты распределительные ПР41 предназначены для распределения электрической энергии, защиты от перегрузок и токов короткого замыкания групповых линий с глухозаземленной нейтралью напряжением 230/400 В, а также компенсации реактивной мощности в осветительных сетях. Состоят из двух отдельных блоков – распределения электрической энергии, защиты от перегрузок и токов короткого замыкания и компенсации реактивной мощности. В блоке компенсации реактивной мощности установлены 4 конденсаторные батареи мощностью 16 квар. Блоки соединяются между собой болтами и их дверцы запираются встроенными замками. При открывании дверей автоматически включается освещение пункта.

Пункты ПР41 выпускают с вводными автоматическими выключателями и без них, с конденсаторными батареями и без них. Их конструкция обеспечивает ввод и вывод проводов в трубах или кабелях с резиновой или пластмассовой изоляцией питающих и отходящих линий, а также цепей управления через верхнюю крышку. К зажимам главных шин распределительного пункта ПР41 присоединяются провода сечением от 10 до $2 \times 120 \text{ мм}^2$, а к зажимам групповых выключателей – $1,5 \dots 25 \text{ мм}^2$. Пункты устанавливаются на полу и эксплуатируются при температуре воздуха от $+1$ до $+40 \text{ }^\circ\text{C}$ во невзрывоопасных окружающих средах, не содержащих пыли, агрессивных газов и паров.

Структура их условного обозначения состоит из: ПР X1-X2 X3X4-X5X6X7, где: ПР – пункт распределительный; X1 – номер

серии (41); X2 – вид установки (4 – на полу, ввод проводов или кабеля сверху); X3 – габарит без измерительного прибора (3); X4 – номер схемы подключения электрооборудования в распределительном пункте; X5 – степень защиты (43 – IP43); X6 – климатическое исполнение (У); X7 – категория размещения (4). Например: ПР41-4301-43 У4.

Щиты учетно-распределительные серий ЩРУН, ЩРУВ, ЩУРв(н), ЩРН, ЩРВ и ЩУ предназначены для установки модульного оборудования для коммутации сетей напряжением 400/230В и их защиты от токов перегрузки и короткого замыкания, а также электрических счетчиков. Используются для электромонтажа в жилых, административных, торговых и промышленных зданиях. Имеют металлический сварной корпус. Позволяют разместить до 48 однополюсных автоматических выключателей ВА47-63, а также одно- или трехфазный счетчик электрической энергии. Выпускаются в исполнениях – встраиваемые в нишу (ЩРУВ) со степенью защиты IP30 и навесные (ЩР) со степенью защиты IP54. Комплекуются съемной монтажной панелью для крепления счетчика, DIN-рейками для установки коммутационной модульной аппаратуры и замком. В двери щита имеется стекло для снятия показания счетчика. Доступ ко всем токоведущим частям закрыт съемной фальшпанелью. Для ввода кабеля внутрь щита предусмотрены отверстия. Предусмотрена возможность крепления шин N и PE, а также заземления двери и корпуса щитка.

Щитки учетно-распределительные ЩУР и этажные ЩЭ предназначены для учета и распределения электрической энергии в сетях напряжением 400/230 В переменного тока частотой 50 Гц с глухозаземленной нейтралью. Благодаря встроенным устройствам защитного отключения щитки предохраняют электрические сети квартир от перегрузок, коротких замыканий и утечки токов. Устанавливаются щитки в нишах стен жилых многоквартирных домов.

Ящики с понижающим трансформатором ЯТП предназначены для преобразования напряжения 230 (400) В частотой 50 Гц в безопасное напряжение 12 (24, 36, 42) В и служат для питания линий ремонтного освещения, подключения переносных светильников и электроинструмента. Их степень защиты – IP54. Пример условного обозначения – ЯТП 0,25 кВА 230/12 В.

5.2. Исполнение электрических сетей светотехнических установок

Электроснабжение осветительных установок сельскохозяйственных объектов осуществляется, как правило, от общих для силовых и осветительных нагрузок трехфазных трансформаторов с вторичным напряжением 400/230 В, работающих в сетях с глухозаземленной нейтралью системы TN в исполнении TN-C, TN-S или TN-C-S⁵⁶.

Учитывая, что параметры источников оптического излучения (световой поток, световая отдача, срок службы и др.) существенно зависят от изменения питающего напряжения, важно чтобы показатели качества электрической энергии в сети соответствовали требованиям ГОСТ 13109–97 [28].

Из всех регламентируемых стандартом [28] основных показателей качества электрической энергии обратим внимание только на те, которые существенно влияют на работу светотехнического оборудования: *установившееся отклонение, колебания и провал напряжения*.

Под установившимся *отклонением напряжения* понимается разность между значением напряжения в точке присоединения потребителей к электрической сети в рассматриваемый момент времени и его номинальным значением. Установленные [28] нормальные и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения на вводах приемников равны соответственно ± 5 и ± 10 % номинального напряжения электрической сети.

Колебания напряжения характеризуются показателями размаха изменения напряжения и дозой фликера.

Размах изменения напряжения есть отношение абсолютного значения разности между значениями следующих один за другим экстремумов и номинального напряжения сети. Предельно допустимые значения размаха изменения напряжения в точках общего

⁵⁶ TN-C – система TN, в которой проводники N (нулевой рабочий) и PE (нулевой защитный) совмещены в одном общем проводнике (PEN) на всем ее протяжении сети. TN-S – система TN, в которой проводники N и PE разделены на всем ее протяжении сети. TN-C-S – система TN, в которой функции проводников N и PE совмещены в одном проводнике (PEN) в какой-то ее части, начиная от источника питания (обычно от трансформаторной подстанции до вводно-распределительного устройства), а далее до потребителя – разделены на нулевой рабочий и нулевой защитный.

присоединения к электрическим сетям в зависимости от частоты повторения изменений напряжения или интервала между изменениями напряжения для сельскохозяйственных потребителей принимаются по графику [28]. При этом предельно допустимое значение суммы установившегося отклонения напряжения и размаха изменений напряжения в точках присоединения к электрическим сетям напряжением 0,4 кВ равно $\pm 10\%$. Превышение этой величины может привести к отключению газоразрядных ламп высокого давления, повторное включение которых произойдет только после их остывания.

*Дозу фликера*⁵⁷ измеряют с помощью фликерметра или определяют расчетным путем [28]. Кратковременную дозу определяют на интервале времени, равном 10 мин, длительную – 2 ч. Предельно допустимые значения для кратковременной дозы равно 1,38, а для длительной – 1,0. Качество электрической энергии по дозе фликера считают соответствующим требованиям, если дозы фликера, определенные путем измерения в течение 24 ч или расчета, не превышают предельно допустимых значений.

Провал напряжения характеризуется показателем длительности провала⁵⁸. Предельно допустимое значение провала напряжения в электрических сетях напряжением до 20 кВ включительно равно 30 с.

Электрическую сеть разделяют на питающую, распределительную и групповую [7]. К *питающей* относят сеть от распределительного устройства подстанции или ответвления воздушных (кабельных) линий до вводного устройства (ВУ), вводно-распределительного устройства (ВРУ) или главного распределительного щита (ГРЩ). *Распределительной* называют сеть от ВУ (ВРУ, ГРЩ) до распределительных пунктов, щитков и пунктов питания светотехнического оборудования, а *групповой* – от групповых

⁵⁷ *Фликер* – субъективное восприятие человеком колебаний светового потока искусственных источников освещения, вызванных колебаниями напряжения в электрической сети. *Доза фликера* – мера восприимчивости человека к воздействию фликера за установленный промежуток времени, отн. ед.

⁵⁸ *Провал напряжения* – внезапное понижение напряжения в точке электрической сети ниже $0,9U_{ном}$, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от десяти миллисекунд до нескольких десятков секунд. *Длительность провала напряжения* – интервал времени между начальным моментом провала напряжения и моментом восстановления напряжения до первоначального или близкого к нему уровня.

распределительных пунктов, щитков и пунктов питания наружного освещения до светильников, штепсельных розеток и других токоприемников.

При определении схемы электрической сети исходят из необходимости обеспечения бесперебойности работы светотехнической установки с учетом требований к категории электроприемника по надежности электроснабжения, предусматривая независимый источник питания для светильников аварийного освещения (при их наличии) или их автоматическое включение при исчезновении напряжения в сети рабочего освещения. При этом допускается сети рабочего и аварийного освещения подключать к разным трансформаторам двухтрансформаторных подстанций при питании трансформаторов от разных независимых источников. Светильники эвакуационного освещения в производственных зданиях с естественным освещением, в жилых и общественных зданиях, независимо от наличия в них естественного освещения, должны быть присоединены к сети, не зависящей от сети рабочего освещения, начиная от подстанции (ВУ, ВРУ, ГРЩ), или при наличии только одного ввода (в здание или зону работы на открытом пространстве), начиная от этого ввода.

Рабочее освещение рекомендуется питать по самостоятельным линиям от ВУ (ВРУ, ГРЩ), которые могут быть проложены общими с трассами питания силовых электроприемников. При выполнении требований к допустимым отклонениям и колебаниям напряжения в сети рабочее и аварийное (безопасности и эвакуационное) освещение допускается питать от общих линий с электросиловыми установками или от силовых распределительных пунктов (кроме производственных зданий и помещений без естественного освещения). При питании осветительной сети от силовых распределительных пунктов, к которым присоединены непосредственно силовые электроприемники, осветительная сеть должна подключаться к вводным зажимам этих пунктов.

Линии питающей сети рабочего и аварийного (безопасности и эвакуационное) 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.

Распределительную сеть, как правило, выполняют в трехфазном исполнении (четырёх- или пятипроводной) магистральными, радиальными или радиально-магистральными⁵⁹ кабельными линиями. Радиальные сети по сравнению с магистральными отличаются меньшим сечением проводников, но имеют большую протяженность. Их целесообразно предусматривать лишь при относительно большой установленной мощности электроприемников (200 и более А). Применение чисто магистральной сети также не всегда является целесообразным. В целях сокращения общей протяженности сети магистральные линии могут совмещаться и заменяться одной радиальной с установкой распределительного пункта в месте дальнейшего разветвления, от которого могут отходить как магистральные, так и радиальные линии. При планировке электрической сети светотехнической установки возможны различные варианты ее выполнения, например, даже в пределах одной радиально-магистральной схемы. Поэтому, когда преимущества любого из рассматриваемых вариантов не очевидны, необходимо прибегать к сопоставлению их технико-экономических показателей.

Групповые сети выполняют в одно-, двух- или трехфазном исполнении (соответственно, трех-, четырех- и пятипроводными), в зависимости от установленной электрической нагрузки и длины. Трехфазное (реже двухфазное) исполнение групповой сети внутреннего освещения применяют при большой длине и установленной мощности осветительного оборудования, стремлении сократить общую продолжительность проводов и кабелей, уменьшить расход цветного металла на ее сооружение и выполнить нормативные требования по величине коэффициента пульсации освещенности.

Групповая линия, как правило, должна содержать на фазу не более 20 ламп накаливания, ДРЛ, ДРИ или ДНаТ, включая в это число также штепсельные розетки. Для групповых линий, питающих

⁵⁹ При *радиальной* схеме питания к каждому групповому щитку и пункту питания наружного освещения от ВУ (ВРУ, ГРЩ) подводится самостоятельная линия, не имеющая ответвлений на всем протяжении. При *магистральной* схеме одна линия предназначена для питания нескольких групповых щитков (в том числе и посредством ответвлений), размещенных в помещении последовательно один за другим. *Радиально-магистральная* схема питания сочетает в себе элементы как радиальной, так и магистральной.

светильники с люминесцентными лампами мощностью до 80 Вт, на фазу рекомендуется присоединять до 60 ламп, мощностью до 40 Вт включительно – 75 ламп, до 20 включительно – до 100 ламп. В производственных, общественных и жилых зданиях на однофазные группы освещения лестниц, этажных коридоров, холлов, технических подполий и чердаков допускается присоединять до 60 ламп накаливания мощностью до 60 Вт.

Каждую групповую линию по всей длине выполняют с одинаковым числом проводников одного и того же сечения. Они должны быть защищены установленными в начале линии на всех фазных проводниках предохранителями или автоматическими выключателями. Установка аппаратов защиты в нулевых защитных проводниках запрещается.

Совместная прокладка проводов и кабелей групповых линий рабочего освещения с групповыми линиями освещения безопасности и эвакуационного освещения не рекомендуется. Допускается их совместная прокладка на одном монтажном профиле, в одном коробе, лотке при условии, что приняты меры, исключающие возможность их повреждения при неисправности проводов рабочего освещения. Отдельными групповыми линиями осуществляется питание светильников дежурного освещения.

При устройстве электрической сети светотехнической установки важным условием обеспечения безопасности является исключение возможности обрыва нулевого провода, последствием чего может стать поражение электрическим током людей и животных при попадании в аварийном режиме напряжения на корпус токопроводящего оборудования. Поэтому ПУЭ [7] устанавливают жесткие требования к устройству и минимально допустимому сечению нулевых рабочего и защитного проводников.

Рабочие нулевые проводники групповых линий должны прокладываться при применении металлических труб совместно с фазными проводниками в одной трубе, а при прокладке кабелями или многожильными проводами должны быть заключены в общую оболочку с фазными проводами. При этом нулевые рабочие проводники должны иметь изоляцию, равноценную изоляции фазных проводников.

В однофазных (двухпроводных) сетях площади сечения нулевого рабочего (N) и фазного проводников должны быть равны.

Сечение нулевого рабочего проводника в трехфазных (четырёхпроводных) сетях с лампами люминесцентными, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ при одновременном отключении всех фазных проводов линии должно выбираться:

- для участков сети, по которым протекает ток от ламп с компенсированным ПРА, равным сечению фазного проводника независимо от его значения;

- для участков сети, по которым протекает ток от ламп с некомпенсированным ПРА, равным сечению фазного проводника, если оно меньше или равно 16 мм^2 для медных и 25 мм^2 для алюминиевых проводов, и не менее 50 % сечения фазных проводников при больших сечениях, но не менее 16 мм^2 для медных и 25 мм^2 для алюминиевых проводов.

При защите трехфазных участков сети предохранителями или автоматическими выключателями сечения нулевого рабочего и фазного проводов должны быть одинаковыми.

В качестве нулевого защитного (*РЕ*) проводника могут использоваться:

- специально предусмотренные проводники (отдельные жилы многожильных кабелей; провода в общей оболочке с фазными проводами; стационарно проложенные изолированные и неизолированные проводники);

- открытые проводящие части электроустановок (алюминиевые оболочки кабелей; стальные трубы электропроводки, металлические конструкции шинопроводов и комплектных устройств заводского изготовления);

- некоторые сторонние проводящие части (металлические строительные конструкции зданий и сооружений; арматура железобетонных строительных конструкций; металлические конструкции производственного назначения).

Использование открытых и сторонних проводящих частей в качестве *РЕ*-проводника допускается, если они отвечают требованиям к: проводимости и непрерывности электрической цепи; невозможности их демонтажа без специально принятых мер по сохранению проводимости и непрерывности электрической цепи. В качестве *РЕ*-проводника не допускается использовать несущие тросы при тросовой электропроводке, металлорукава, свинцовые оболочки проводов и кабелей, трубопроводы (газоснабжения

и других взрывоопасных веществ и смесей), трубы канализации и центрального отопления.

Наименьшая площадь поперечного сечения нулевых защитных (*PE*) проводников при сечении фазных проводников не более 16 мм^2 должна быть равна сечению фазного проводника, при $16 < S_{\text{ф}} \leq 35 \text{ мм}^2$ – 16 мм^2 и при $S_{\text{ф}} > 35 \text{ мм}^2$ – $0,5S_{\text{ф}}$. Если нулевые защитные проводники изготовлены из материала, отличающегося от материала изготовления фазных проводников, то их сечение должно быть эквивалентно по проводимости фазным проводникам указанного сечения. Во всех случаях сечение нулевого защитного проводника, не входящего в состав кабеля или проложенного не в общей оболочке (трубе, коробе, лотке) с фазными проводниками, должно быть не менее при алюминиевой жиле – 16 мм^2 и при медной жиле – $2,5 \text{ мм}^2$ при наличии и 4 мм^2 при отсутствии механической защиты.

Нулевые защитные проводники рекомендуется прокладывать совместно с фазными проводниками или в непосредственной близости от них.

В многофазных стационарных электрических сетях функции нулевого рабочего (*N*) и защитного (*PE*) проводников могут быть совмещены в одном (*PEN*) проводнике при условии, что площадь его сечения не менее 10 мм^2 в исполнении из меди и не менее 16 мм^2 – из алюминия. Не допускается совмещать функции нулевого рабочего и защитного проводников в цепях однофазного исполнения, за исключением ответвлений от воздушных линий напряжением до 1 кВ к однофазным потребителям электроэнергии. Не допускается использовать сторонние проводящие части в качестве единственного *PEN*-проводника.

Требования [7] к минимально допустимому сечению *PEN*-проводника накладывают ограничение на использование системы *TN-C* в осветительных установках: площадь сечения медного нулевого проводника должна быть не менее 10 мм^2 и алюминиевого – не менее 16 мм^2 .

5.3. Проектирование электрических сетей светотехнических установок

Правильно спроектированные электрические сети должны обеспечивать оптимальную работу светотехнических установок

при минимальных затратах финансовых, материально-технических и трудовых ресурсов. При разработке проекта сети рекомендуется придерживаться следующей последовательности рассмотрения вопросов: выбор напряжения и схемы питания электрической сети; определение мест расположения групповых щитков и трассы сети; выбор марки проводов и способов их прокладки; составление принципиальной схемы сети; расчет и проверка сечения проводников; выбор защиты сети от аварийных режимов; составление сметы и спецификации; разработка (при необходимости) специальных мероприятий по охране труда и технике безопасности, организации эксплуатации, экономии электрической энергии.

5.3.1. Выбор напряжения и схемы питания электрической сети

Питание источников оптического излучения, как правило, осуществляется от системы трехфазного тока с глухозаземленной нейтралью напряжением 230/400 В. При этом источники подключаются к фазному и нулевому или фазным проводам сети в зависимости от их номинального напряжения. Тем не менее при выборе того или иного значения питающего напряжения следует исходить из степени опасности поражения людей и животных электрическим током в рассматриваемом помещении (зоне).

В помещениях без повышенной опасности напряжение 230 В допускается для всех светильников общего назначения независимо от высоты их установки. Газоразрядные лампы высокого давления (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и им подобные), рассчитанные на номинальное напряжение 400 В, допускается подключать на линейное напряжение системы 230/400 В.

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных при установке светильников с лампами накаливания на высоте более 2,5 м над полом допускается применять напряжение 230 В. При высоте установки светильников менее 2,5 м должны применяться светильники, конструкция которых исключает возможность доступа к лампе без специальных приспособлений, в противном случае напряжение питания источников должно быть не выше 50 В. Решается установка светильников с люминесцентными лампами на высоте менее 2,5 м при условии, что их контактные части будут недоступны для случайных прикосновений.

Светильники местного стационарного освещения с лампами накаливания в помещениях без повышенной опасности должны питаться от электрической сети напряжением 230 В, а в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных – не выше 50 В. Для питания переносных светильников в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных также должно применяться напряжение не выше 50 В. В случаях, когда опасность поражения электрическим током усугубляется теснотой, неудобным положением работающего, соприкосновением с большими металлическими хорошо заземленными поверхностями, питание переносных светильников должно осуществляться напряжением не выше 12 В. Для подключения светильников на пониженное напряжение должны предусматриваться понижающие трансформаторы.

Питающие и распределительные электрические сети обычно выполняют в трехфазном исполнении – четырехпроводными для систем в исполнении TN-C и TN-C-S или пятипроводными для системы в исполнении TN-S, а групповые в зависимости от нагрузки и длины: в однофазном исполнении – двух- и трехпроводными, двухфазном – трех- и четырехпроводными, трехфазном – четырех- и пятипроводными, соответственно для систем TN-C и TN-S или TN-C-S.

При выборе схемы и источников питания электрических сетей светотехнической установки в обязательном порядке учитывают требования к надежности электроснабжения, экономичности (минимальным капитальным и эксплуатационным затратам), удобству в управлении и простоте эксплуатации. И здесь важным фактором является категория проектируемого объекта по надежности электроснабжения и потребность в зависимости от этого в независимых источниках питания.

5.3.2. Выбор групповых щитков, определение места их расположения и трассы сети

Групповые линии электрической сети подключают к осветительным групповым щиткам, в которых размещаются аппараты защиты от токов короткого замыкания и перегрева, коммутации, управления и автоматического отключения при утечке тока на защитное заземление.

Для уменьшения протяженности и сечения проводников групповой сети осветительные щитки устанавливают в помещениях с благоприятными условиями среды, по возможности в центре осветительной нагрузки, в местах, удобных для обслуживания: проходах, коридорах, на лестничных клетках. Не рекомендуется их устанавливать в запираемых и во взрыво- и пожароопасных помещениях. Если управление осветительной установкой осуществляется со щитков, то их размещают таким образом, чтобы с места их установки были видны отключаемые ряды светильников.

При компоновке внутренних электрических сетей светильники разбивают на группы, намечают места установки осветительных щитков, светильников, выключателей и розеток. При этом электрическую нагрузку стремятся распределить так, чтобы равномерно загрузить фазы питающей сети.

Групповая линия, как правило, должна содержать на фазу не более 20 ламп накаливания, ДРЛ, ДРИ или ДНаТ, включая в это число также штепсельные розетки. Для групповых линий, питающих светильники с люминесцентными лампами мощностью до 80 Вт, на фазу рекомендуется присоединять до 60 ламп. При мощности люминесцентных ламп до 40 Вт допускается к групповой линии присоединять до 75 ламп и при мощности до 20 Вт – до 100 ламп. В производственных, общественных и жилых зданиях на однофазные группы освещение лестниц, этажных коридоров, холлов, технических подполий и чердаков допускается присоединять до 60 ламп накаливания мощностью до 60 Вт.

Каждую групповую линию по всей длине выполняют с одинаковым числом проводников одного и того же сечения. Они должны быть защищены установленными в начале линии на всех фазных проводниках предохранителями или автоматическими выключателями. Установка аппаратов защиты в нулевых защитных проводниках запрещается.

Однофазные групповые линии целесообразно применять для небольших и средних помещений при установке светильников с лампами накаливания мощностью до 200 Вт или светильников с люминесцентными лампами. Применение трехфазных групповых линий экономично в больших помещениях (птичниках, коровниках

и т. п.), освещаемых как лампами накаливания, так и газоразрядными лампами.

При разбивке электрической сети на группы большое значение имеет выбор трассы сети, которая должна быть не только короткой, но и наиболее удобной для монтажа и обслуживания. Прокладка сети по геометрически кратчайшим трассам практически невозможна или нецелесообразна по причинам конструктивного и технологического характера. При выборе трассы прокладки сети следует учитывать конструктивные, эксплуатационные и эстетические требования. Трасса электрической сети, особенно при открытой проводке, должна проходить параллельно или перпендикулярно к плоскостям, углам стен и потолка помещения. Только при скрытой проводке на горизонтальных плоскостях допускается применять прямолинейную трассировку между фиксированными точками сети.

При напряжении выше 50 В в помещениях без повышенной опасности открытую проводку выполняют на высоте не менее 2 м, а в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных – 2,5 м от пола. При напряжении до 50 В в любых помещениях открытую электропроводку рекомендуется выполнять на высоте не менее 2 м. При пересечении трасс открытых электропроводок с трубопроводами расстояние между ними в свету должно быть не менее 50 мм, а с трубопроводами, содержащими горючие или легковоспламеняющиеся жидкости и газы, – не менее 100 мм. При параллельной их прокладке соответственно 100 и 400 мм.

Количество групповых осветительных щитков ($n_{щ}$) определяют исходя из размеров здания (длины A и ширины B) и рекомендуемой протяженности групповых линий (r): трехфазных напряжением 400/230 В – до 80 м, однофазных напряжением 230 В – до 35 м. Ориентировочное расчетное количество осветительных групповых щитков можно определить по формуле

$$n_{щ} = \sqrt{A^2 + B^2} / (2r), \quad (5.1)$$

Для уменьшения протяженности и сечения проводов групповой сети осветительные щитки по возможности устанавливают в центре электрической нагрузки, координаты которого можно определить по формулам

$$x_{\text{ц}} = \sum_{i=2}^n P_i x_i / \sum_{i=2}^n P_i \text{ и } y_{\text{ц}} = \sum_{i=2}^n P_i y_i / \sum_{i=2}^n P_i, \quad (5.2)$$

где $x_{\text{ц}}$, $y_{\text{ц}}$ – координаты центра электрических нагрузок в координатных осях x , y ;

P_i – мощность i -й электрической нагрузки, Вт (кВт);

x_i , y – координаты i -й электрической нагрузки в координатных осях x , y .

Групповые осветительные щитки выбирают в зависимости от количества групповых линий, используемых аппаратов управления и защиты (учитывая и предназначенные для возможного резерва), величины расчетного тока групповой сети, исполнения по степени защиты от окружающей среды и категории размещения. В зависимости от условий среды в помещениях применяют групповые щитки незащищенные, защищенные и защищенные с уплотнением. Защищенные с уплотнением щитки предназначены для установки в производственных помещениях с тяжелыми условиями среды.

Выбранные трассы питающих, распределительных и групповых линий, места установки групповых щитков, светильников, выключателей и розеток и др. электрооборудования наносят на план помещений проектируемого здания в соответствии с условными обозначениями, регламентированными [29, 30, 31, 32].

5.3.3. Выбор марки проводов и способов их прокладки

Выбор марки проводов и кабелей для электрической сети осветительной установки производится с учетом:

- вида электропроводки (открытая и скрытая прокладка);
- способа прокладки (в трубах, коробах, лотках, рукавах, на тросе и т. д.);
- категории поверхности, на (в) которой осуществляется прокладка (сгораемая, трудносгораемая, несгораемая);
- категории помещения (зоны) по условиям окружающей среды (сухие, пыльные, влажные, сырые, особо сырые, особо сырые с химически активной или органической средой, пожаро- или взрывоопасные и т. д.);
- материала токопроводящих жил (медь, алюминий или др.);

- количества токопроводящих жил (одна, две, три, четыре или пять);
- площади сечения токопроводящих жил (1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25 и т. д. мм²);
- защитной изоляции и оболочки на токоподводящих жилах (поливинилхлоридной, полиэтиленовой, наиритовой, резиновой, силанольношпигитого полиэтилена и др.);
- номинального напряжения.

Выбор марки проводов и кабелей для электрической сети осветительной установки следует производить в соответствии с приведенными в приложении 25 рекомендациями, учитывая при этом требования к электрическим сетям пожаро-, взрыво- и электробезопасности проектируемых помещений. При наличии нескольких условий, регламентирующих требования к электрической сети помещения, выбранные марки провода или кабеля должны удовлетворять всем указанным нормативным требованиям.

При выборе марок проводов и кабелей для электропроводок главное внимание уделяется их оболочкам и изоляции, которые должны соответствовать способу прокладки, условиям окружающей среды и номинальному напряжению сети. Так, в животноводческих и птицеводческих помещениях, где воздух содержит большую концентрацию аммиака и влаги, провода с резиновой изоляцией не используют.

Для выполнения внутренних электропроводок на сельскохозяйственных объектах рекомендуется применять провода и кабели с алюминиевыми жилами. Провода и кабели с медными жилами следует применять:

- для взрывоопасных помещений классов В-I и В-Ia;
- в помещениях с химически активной средой, разрушающе действующей на алюминий;
- для зарядки светильников подвесных, на кранах и переносных;
- при прокладке по вибрирующим основаниям;
- в зрелищных предприятиях для сцены, арены, эстрады, киноаппаратной и др.;
- для открытых проводок в чердачных помещениях.

Для присоединения передвижных и переносных осветительных установок применяют гибкие кабели с медными жилами

в резиновой изоляции и резиновой оболочке, например, типов КГ, КРПТ, КРПГ.

Основные типы установочных проводов и кабелей представлены в табл. 5.1.

Электропроводки подразделяются на два вида: открытые и скрытые. Открытая электропроводка предусматривает прокладку проводов и кабелей непосредственно по поверхностям стен, потолков, фермам и другим строительным элементам зданий и сооружений, внутри стальных или пластмассовых труб, в лотках и коробах. Скрытая электропроводка предусматривает прокладку проводов и кабелей внутри конструктивных элементов зданий и сооружений (под штукатуркой, в стенах, полах, фундаментах, пустотах, перекрытиях), в том числе прокладываемых и в пластмассовых или стальных трубах, пластиковом или металлическом рукаве.

Наиболее совершенной является скрытая проводка. Провода, проложенные скрыто, не портят вида помещения, не подвергаются воздействию внешней среды и не получают механических повреждений. Однако наиболее дешевой является открытая проводка.

При проектировании сельскохозяйственных объектов следует применять следующие способы прокладки электропроводок: на тресе; на лотках и в коробах; в пластмассовых и стальных трубах; в металлических, резино- и пластикотехнических гибких рукавах; в каналах строительных конструкций; по строительным основаниям и конструкциям.

В высоких помещениях (производственных) часто бывает целесообразно осуществлять прокладку на тресе. При этом светильники можно располагать на сравнительно небольшой высоте, что облегчает доступ к ним, упрощает монтаж и дает экономию проводов за счет сокращения длины спусков к светильникам.

При выборе того или иного способа прокладки электропроводки необходимо учитывать условия среды, строительные особенности помещения, архитектурно-художественные требования и, наконец, технико-экономические показатели. Выбор способа прокладки сети должен быть согласован с предусмотренным заводом-изготовителем способом установки светильников (на потолке, крюке, трубе и т. д.).

5.3.4. Расчет и проверка сечения проводников электрической сети

Сечения проводников электрической сети светотехнической установки определяют исходя из: допустимой максимальной температуры нагрева (длительно допустимого тока); допустимого падения напряжения (отклонения напряжения у наиболее удаленного источника); электромеханических нагрузок, которые могут иметь место вследствие токов короткого замыкания; механических нагрузок, которым могут подвергаться проводники (механической прочности); максимального полного сопротивления по отношению к рабочим характеристикам защиты от токов короткого замыкания (тока аппарата защиты); требований экономичности [7, 8].

Электрические сети светотехнических установок сельскохозяйственных зданий и сооружений отличаются относительно большой протяженностью, небольшой установленной мощностью электрических нагрузок и, как правило, удаленностью от питающих их трансформаторных подстанций. Учитывая эти обстоятельства, с целью снижения трудоемкости расчетов определение сечения их проводников целесообразно начинать с выполнения требования к обеспечению допустимого отклонения напряжения у наиболее удаленного источника, то есть по допустимой потере напряжения. Поэтому до начала расчета требуется составить принципиальную схему электрической сети и определить значение допустимых (располагаемых) потерь напряжения на ее участках.

Значение допустимых (располагаемых) потерь напряжения в сети можно определить при известных параметрах:

$$\Delta U_{\text{доп}} = \Delta U_{\text{xx}} - \Delta U_{\text{л}} - \Delta U_{\text{т}}, \quad (5.3)$$

где $\Delta U_{\text{доп}}$ – допустимая потеря напряжения в сети, %;

ΔU_{xx} – напряжение холостого хода на шинах низшего напряжения трансформатора, %;

$\Delta U_{\text{л}}$ – минимально допустимое напряжение у наиболее удаленных ламп, %;

$\Delta U_{\text{т}}$ – потеря напряжения в трансформаторе, к которому подключена осветительная установка, %.

При определении допустимого напряжения у наиболее удаленных ламп $\Delta U_{\text{л}}$ необходимо исходить из следующих требований [7, 28]:

– снижение напряжения по отношению к номинальному не должно у наиболее удаленных источников превышать 5 % для рабочего освещения промышленных, общественных и жилых зданий, наружных осветительных установок (считая от выводов низшего напряжения понижающих трансформаторов);

– напряжение у источников должно быть не более 105 % номинального.

Значение допустимых потерь напряжения в линии $\Delta U_{\text{л}}$ определяется суммой значений потерь (превышений) напряжений в питающей $\Delta U_{\text{п}}$, распределительной $\Delta U_{\text{р}}$ и групповой $\Delta U_{\text{г}}$ ее составляющих линиях, то есть $\Delta U_{\text{л}} = \Delta U_{\text{п}} + \Delta U_{\text{р}} + \Delta U_{\text{г}}$. Допустимые потери напряжения внутри помещения $\Delta U_{\text{пом}}$, в котором выбирается сечение проводников электрической сети осветительной установки, могут быть определены как $\Delta U_{\text{пом}} = \Delta U_{\text{р}} + \Delta U_{\text{г}}$ или

$$\Delta U_{\text{пом}} = \Delta U_{\text{xx}} - \Delta U_{\text{т}} - \Delta U_{\text{п}}. \quad (5.4)$$

Определяя допустимые потери напряжения в электрической сети светотехнической установки $\Delta U_{\text{пом}}$ при известной (существующей или проектируемой) принципиальной схеме всей электрической сети от питающего трансформатора до всех подключенных к ней электрических нагрузок значение входящих в формулу (5.4) параметров может быть вычислено по известным выражениям, например, [13, 33], следовательно, и значение $\Delta U_{\text{пом}}$ в этом случае определяется расчетным путем. Так как при выборе сечения проводников электрической сети светотехнической установки при выполнении курсового проекта по дисциплине в задании не приводится принципиальная схема всей электрической сети и неизвестными значениями являются U_{xx} , $\Delta U_{\text{т}}$ и $\Delta U_{\text{п}}$, в расчетах рекомендуется принимать приближенное значение $\Delta U_{\text{пом}}$, равное 2,0...2,5 %.

При выборе сечения проводников по допустимой потере напряжения в расчетных формулах исходят из момента нагрузки всех распределительных и групповых линий электрической сети осветительной установки. Для определения моментов нагрузки предварительно составляется принципиальная расчетная схема электрической сети, в которую включаются все входящие в сеть электроприемники, в частности, светильники и розетки (рис. 5.4).

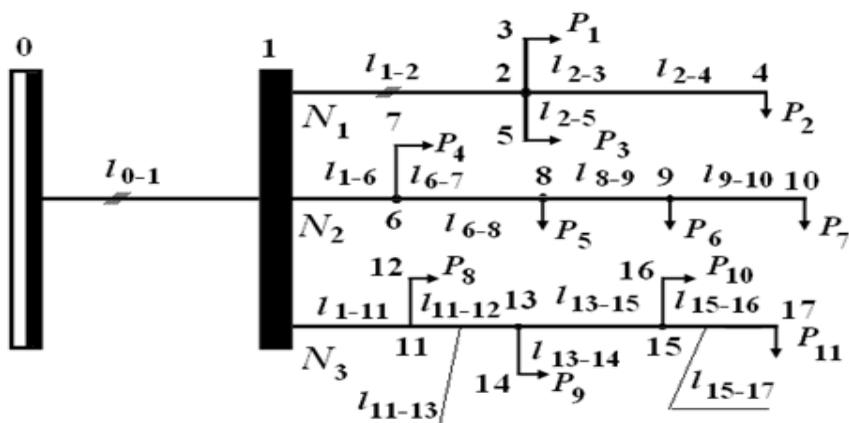


Рис. 5.4. Расчетная схема электрической сети, на которой пятью перечеркнутыми линиями указано количество проводов на участке (трехфазная сеть с отдельными рабочим и защитным заземлениями), а на участках однофазной сети с отдельными рабочим и защитным заземлениями перечеркивание может отсутствовать

На принципиальной расчетной схеме указываются расстояния между узловыми точками сети $li-j$ и установленная (расчетная) мощность потребителя (светильника, розетки) P_i . При этом P_i определяется с учетом потерь мощности в ПРА (для светильников с газоразрядными лампами) и коэффициента спроса на розетку [13]:

$$P_i = K_C \sum_{i=1}^n K_{\text{ПРА}i} \cdot P_{\text{НОМ}i}, \quad (5.5)$$

где K_C – коэффициент спроса на нагрузки: для групповых линий и распределительных линий, питающих отдельные групповые щитки, может быть принят равным 1,0; для розеток, питающихся от групповых линий – 1,0; для розеток при расчете распределительных линий – 0,2;

$K_{\text{ПРА}i}$ – коэффициент, учитывающий потери мощности в ПРА: для ламп накаливания и светодиодных ламп равен 1,0; для газоразрядных ламп с электромагнитными ПРА – 1,2 (с ЭПРА – 1,05...1,1);

$P_{\text{НОМ}i}$ – номинальная мощность i -й лампы (для розеток принимается равной 0,06), кВт;

n – количество ламп в светильнике.

Момент нагрузки i -го участка электрической сети M_i определяется при сосредоточенной нагрузке как произведение установленной (расчетной) мощности потребителя P_i (кВт) на длину линии l_i , то есть $M_i = P_i l_i$ (кВт · м). Поэтому при составлении принципиальной расчетной схемы электрической сети не обязательно указывать на ней всех потребителей, а можно их объединять в группы при обязательном соблюдении условия равенства моментов нагрузки условной и реальной сетей. Например, при замене на принципиальной расчетной схеме реального участка сети на условный, должно быть соблюдено условие $M_y = M_p$, например, для схем, изображенных на (рис. 5.5):

$$M_y = P_1 l_{0-1} + P_2 (l_{0-1} + l_{1-2}) + P_3 (l_{0-1} + l_{1-2} + l_{2-3}) + P_4 (l_{0-1} + l_{1-2} + l_{2-3} + l_{3-4}) = M_p = P_5 l_{0-5},$$

при $P_5 = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$.

Формула для расчета M_y может быть представлена и в виде

$$M_y = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) l_{0-1} + (P_2 + P_3 + P_4) l_{1-2} + (P_3 + P_4) l_{2-3} + P_4 l_{3-4}.$$

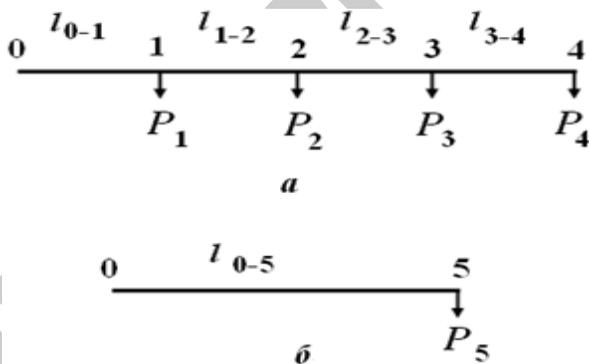


Рис. 5.5. К построению расчетной схемы путем замены реального участка электрической сети (а) расчетным (б)

Таким образом, при замене на принципиальной расчетной схеме реального участка сети, состоящего из группы светильников

с одинаковой установленной в них мощностью источников, присоединенных в групповой сети с равными интервалами, расчетным участком рассредоточенная в линии нагрузка заменяется сосредоточенной, приложенной к середине участка. Если групповая линия состоит из нескольких участков с одинаковым сечением проводников и различными нагрузками, то суммарный момент нагрузки равен сумме моментов нагрузок отдельных участков.

Составив расчетную схему, приступают к определению необходимого сечения проводников, исходя из допустимых потерь напряжения в электрической сети, что обеспечивает минимум расхода проводникового материала на ее изготовление. Затем выбранные сечения проводов (кабелей) проверяют на их соответствие требованиям механической прочности, допустимому нагреву и току срабатывания защитного аппарата.

Сечение проводников S электрической сети по допустимой потере напряжения определяют по формуле

$$S = \frac{\sum M + \sum \alpha \cdot m}{C \Delta U}, \quad (5.6)$$

где $\sum M = P_i l_i$ – сумма моментов нагрузки данного и всех последующих участков электрической сети с тем же числом проводников, что и на расчетном, кВт · м;

$\sum \alpha \cdot m$ – сумма моментов нагрузки всех ответвлений, имеющих иное число проводников, чем на рассчитываемом участке, кВт · м;

α – коэффициент приведения моментов нагрузки, определяемый числом проводников на рассчитываемом участке и в ответвлениях (табл. 5.5);

C – расчетный коэффициент, зависящий от номинального напряжения, системы сети и рода тока, а также материала проводника (табл. 5.6);

ΔU – расчетное значение допустимой потери напряжения сети протяженностью от начала рассчитываемого участка до наиболее удаленного электроприемника, %;

P_i – установленная (расчетная) мощность электропотребителей на i -м участке, кВт;

l_i – протяженность i -го участка, м.

Таблица 5.5

Значения коэффициентов приведения моментов

Линия	Ответвление	Значение коэффициента
Трехфазная с нулевым рабочим проводником	Однофазное	1,83
	Двухфазное с нулевым рабочим проводником	1,37
Двухфазная с нулевым рабочим проводником	Однофазное	1,33
Трехфазная без нулевого рабочего проводника	Двухфазное (двухпроводное)	1,15

Таблица 5.6

Значения коэффициента С при расчете электрической сети по допустимой потере напряжения

Номинальное напряжение, В	Система сети и род тока	Значения коэффициента для проводников из	
		меди	алюминия
400/230	Трехфазная с нулевым рабочим проводником	77	46
400/230	Двухфазная с нулевым рабочим проводником	34	20
230	Однофазная (двухпроводная)	12,8	7,7
36	То же	0,34	0,21
24	То же	0,153	0,092
12	То же	0,038	0,0234

Если воспользоваться приведенной на рис. 5.4 расчетной схемой электрической сети осветительной установки, то по выражению (5.6) сечение проводов на головном участке 0–1 определится как

$$\begin{aligned}
 S_{0-1} = & (P_1 + \dots + P_{11}) l_{0-1} + (P_1 + P_2 + P_3) l_{1-2} + \alpha_{2-4} \times \\
 & \times [P_1 l_{2-3} + P_2 l_{2-4} + P_3 l_{2-5} + (P_4 + \dots + P_7) l_{1-6} + P_4 l_{6-7} + \\
 & + (P_5 + P_6 + P_7) l_{6-8} + (P_6 + P_7) l_{8-9} + P_7 l_{9-10} + \\
 & + (P_8 + \dots + P_{11}) l_{1-11} + P_8 l_{11-12} + (P_9 + P_{10} + P_{11}) l_{11-13} + \\
 & + (P_{10} + P_{11}) l_{13-15} + P_{10} l_{15-16} + P_{11} l_{15-17}] / (C_4 \Delta U).
 \end{aligned} \tag{5.7}$$

Полученное по расчету сечение головного участка сети округляют до ближайшего большего стандартного и проверяют по механической прочности, нагреву и току защитного аппарата.

Проверка сечения проводов по механической прочности производится путем сравнения значения, принятого по результатам расчетов, с минимально допустимым для принятого способа прокладки и материала токопроводника (табл. 5.7).

Таблица 5.7

Минимально допустимые сечения токопроводящих жил проводов и кабелей в электропроводах [7]

Наименование проводников и способ прокладки	Сечение жил, мм ²	
	алюминиевых	медных
Незащищенные изолированные провода внутри помещений при прокладке:		
– непосредственно по основаниям, на роликах, клицах и тросах;	2,5	1
– на лотках, в коробах (кроме глухих) для жил, присоединяемых к винтовым зажимам;	2	1
Незащищенные изолированные провода в наружных электропроводах:		
– по стенам, конструкциям или опорам на изоляторах;	4	2,5
Незащищенные и защищенные изолированные провода и кабели в трубах, металлических рукавах и глухих коробах	2	1
Кабели и защищенные провода для стационарной электропроводки (без труб, рукавов и глухих коробов):		
– для жил, присоединяемых к винтовым зажимам;	2	1
Защищенные и незащищенные провода и кабели, прокладываемые в замкнутых каналах или замоноличенно (в строительных конструкциях или под штукатуркой)	2	1

По нагреву сечение проводов проверяют путем сопоставления значений тока, протекающего по проводам и нагревающего их,

с длительно допустимыми для принятого сечения и марки (изоляции, материала токопроводящих жил) проводов и кабелей при принятом способе прокладки (табл. 5.8).

Проверка осуществляется на выполнение условия $I_p \leq I_{\text{доп}}$, где I_p – рабочий ток, протекающий в токопроводящей жиле при полной нагрузке сети; $I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток для заданного сечения и марки провода или кабеля при принятом способе прокладки.

Для прокладки проводов и кабелей в воздухе и случаях, когда его температура существенно отличается от 25 °С, при определении $I_{\text{доп}}$ его справочное, приведенное в табл. 5.8 значение умножают на поправочный коэффициент, принимаемый в соответствии с рекомендацией [7].

Таблица 5.8

Длительно допустимый ток $I_{\text{доп}}$ для проводов с резиновой и поливиниловой изоляциями [7]

Сечение проводящей жилы, мм ²	Ток, А, для проводов, проложенных в одной трубе					
	открыто	двух одно-жильных	трех одно-жильных	четырёх одно-жильных	одного двух-жильного	одного трех-жильного
с алюминиевыми жилами						
2,5	24	20	19	19	19	16
3	27	24	22	21	22	18
4	32	28	28	23	25	21
5	36	32	30	27	28	24
6	39	36	32	30	31	28
8	46	43	40	37	38	32
10	60	50	47	39	42	38
с медными жилами						
1,5	23	19	17	16	18	15
2	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3	34	32	28	26	28	24
4	41	38	35	30	32	27
5	46	42	39	34	37	31
6	50	46	42	40	40	34
8	62	54	51	46	48	43
10	80	70	60	50	55	50

Для трехфазной сети с нулевым рабочим проводником или без него при равномерной нагрузке фаз рабочий ток I_p равен:

$$I_p = P / (\sqrt{3} U_{л} \cos \varphi). \quad (5.8)$$

Для однофазной (двухпроводной) сети, а также каждой из фаз двух- и трехфазных сетей с нулевым рабочим проводником при любой, в том числе и неравномерной, нагрузке:

$$I_p = P / (U_{\phi} \cos \varphi), \quad (5.9)$$

где P – расчетная мощность нагрузки (включая потери в ПРА газоразрядных ламп), Вт;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности (для ламп накаливания равен 1,0, люминесцентных ламп – 0,92 для светильников с двумя и более лампами и 0,9 для светильников с одной лампой⁶⁰, газоразрядных ламп высокого давления – 0,5);

$U_{л}$ и U_{ϕ} – линейное и фазное напряжения, В.

Электрическую сеть осветительных установок защищают от аварийных режимов (токов однофазного короткого замыкания) и, для ряда помещений, от токов перегрузки. Для защиты от токов однофазного короткого замыкания применяют плавкие предохранители и, что предпочтительно, автоматические выключатели, при защите от аварийных режимов и токов перегрузки – только автоматические выключатели. Аппараты защиты выбирают по номинальным значениям напряжения и тока, предельному значению отключающего тока, а автоматические выключатели – и по токам срабатывания теплового и электромагнитного выключателей.

Защита электрических сетей осветительных установок от токов короткого замыкания должна выполняться во всех случаях. Защита от токов перегрузки – в случаях исполнения сети:

- открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией;
- в пожароопасных зонах, жилых и общественных зданиях, торговых и служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети бытовых и переносных электроприемников;

⁶⁰ $\cos \varphi$ для светильников с люминесцентными лампами, оснащенными ЭПРА (включая компактные люминесцентные лампы), равен 0,97...0,98.

– всех видов и назначений во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Iа, В-II и В-IIа.

Аппараты защиты групповой сети устанавливаются в местах присоединения защищаемых проводов к распределительной линии (распределительные и групповые щиты). В нулевых проводах аппараты защиты устанавливать запрещено, за исключением взрывоопасных помещений класса В-I. Для обеспечения селективности срабатывания защит номинальный ток каждого последующего аппарата в направлении к источнику питания следует принимать не менее чем на две ступени большим, чем у предыдущего аппарата, если это не ведет к завышению площади сечения проводников электрической сети.

Чтобы избежать ложных срабатываний защитных аппаратов из-за пусковых токов осветительных установок, при их выборе необходимо соблюдать соотношения, приведенные в табл. 5.9.

Таблица 5.9

Минимальные отношения тока аппаратов защиты I_B к расчетному току линии

Тип защитного аппарата	Лампы накаливания		Люминесцентные лампы	Газоразрядные лампы высокого давления
	до 300 Вт	более 300 Вт		
Предохранители	$I_B \geq I_P$	$I_B \geq 1,2I_P$	$I_B \geq I_P$	$I_B \geq 1,2I_P$
Автоматические выключатели с тепловыми расцепителями с вставками:				
– до 50 А;	$I_B \geq 1,4I_P$	$I_B \geq 1,4I_P$	$I_B \geq I_P$	$I_B \geq 1,4I_P$
– более 50 А			$I_B \geq I_P$	$I_B \geq I_P$
Автоматические выключатели с комбинированными расцепителями с вставками:				
– до 50 А;	$I_B \geq 1,4I_P$	$I_B \geq 1,4I_P$	$I_B \geq I_P$	$I_B \geq 1,4I_P$
– более 50 А			$I_B \geq I_P$	$I_B \geq I_P$

После выбора вставок защитных аппаратов производят проверку сечения жил проводников на соответствие расчетному току вставки защитного аппарата:

$$I_{\text{доп}} \geq K_3 I_B, \quad (5.10)$$

где K_3 – коэффициент кратности длительно допустимого тока проводника к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата.

В электрических сетях осветительных установок, не требующих защиты от перегрузок, K_3 принимают равным 0,33 при защите сети от токов короткого замыкания предохранителями и 0,22 – автоматическими выключателями с электромагнитными расцепителями. Для автоматических выключателей с нерегулируемыми и регулируемым тепловыми или комбинированными расцепителями коэффициент K_3 соответственно равен 1,0 и 0,8. Для электрических сетей, защищаемых от перегрузки, K_3 принимают равным от 0,8 до 1,25 в зависимости от изоляции проводника и вида защитного аппарата [7, 13].

Если соотношение между длительно допустимым током проводника и током вставки защитного аппарата не соответствует нормируемому, то сечение проводника выбирают из соображений трехкратного превышения тока короткого замыкания номинального тока плавкой вставки предохранителя, теплового или комбинированного расцепителя автоматического выключателя. Во взрывоопасных помещениях это соотношение должно быть не менее 4 при предохранителях и 6 при автоматических выключателях.

Если по одному из условий проверки (механической прочности, нагреву или защите от аварийных режимов) принятое сечение проводника не проходит, то его увеличивают до ближайшего большего по шкале завода-производителя, изготавливающего провода или кабели принятой марки.

После окончательного выбора сечения проводов на рассчитываемом участке (в нашем случае для распределительной линии) определяют фактические потери напряжения на этом участке, для чего уравнение (5.7) решают относительно ΔU :

$$\Delta U_{0-1} = (P_1 + P_3 + \dots + P_{11}) l_{0-1} K_C / (C_4 S_{0-1(\text{ГОСТ})}), \quad (5.11)$$

где $S_{0-1(\text{ГОСТ})}$ – принятое стандартное сечение проводника на участке 0–1, мм².

Сечение проводников на последующих участках электрической сети определяют с учетом значений располагаемых потерь

напряжения, которые определяются путем вычитания потерь напряжения на предшествующих участках электрической сети от значения допустимой потери напряжения сети протяженностью от начала до наиболее удаленного электроприемника $\Delta U_{\text{доп}}$. Например, располагаемые потери напряжения для участка 1-10 ΔU_{1-10} в рассматриваемом нами варианте (рис. 5.4): $\Delta U_{1-10} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{0-1}$. Следовательно, сечение проводника на участке 1-10 будет определяться как

$$S_{1-10} = (P_4 l_{1-7} + P_5 l_{1-8} + P_6 l_{1-9} + P_7 l_{1-10}) / (C_2 \Delta U_{1-10}). \quad (5.12)$$

В качестве примера произведем электрический расчет осветительной сети родильного отделения на 96 коров. Здание разработано с применением рамного каркаса из железобетонных трехшарнирных рам.

По надежности электроснабжения родильная относится к потребителям 2-й категории. Питание источников оптического излучения осуществляется от системы *TN* трехфазного тока с глухозаземленной нейтралью (в исполнении *TN-C-S*) напряжением 400/230 В.

Групповой щиток марки ЯРН8501-3802 устанавливаем на стенке в проходе между служебным помещением и электрощитовой. В соответствии со светотехническим расчетом производим компоновку внутренних сетей и на плане помещения наносим трассы питающей и групповых линий (приложение 26). Для электропроводки принимаем кабель АВВГ. Способ прокладки – на тресе и по строительным основаниям и конструкциям скобами.

Расчетная схема электрической сети осветительной установки, составленная в соответствии с планом размещения и питания светильников, приведена на рис. 5.4. Потери в ПРА люминесцентных ламп принимаем равными 20 %. Равномерно распределенную нагрузку заменяем сосредоточенной, приложенной в центре электрических нагрузок. Длину участков определяем по строительным размерам помещения по плану помещений с учетом спусков, подъемов, изгибов и т. п. (увеличивая на 5...10 %). В результате имеем: $l_{8-9} = 22$; $l_{2-3} = l_{2-5} = 21$; $l_{2-4} = 16$; $l_{9-10} = 12$; $l_{1-2} = 10$; $l_{11-12} = l_{15-17} = 6$; $l_{0-1} = l_{1-6} = 4$; $l_{6-8} = l_{11-13} = l_{13-14} = l_{15-16} = 3$; $l_{1-11} = 2$; $l_{6-7} = l_{13-15} = 1$ м; $P_1 = P_3 = 0,6$; $P_2 = 0,36$; $P_6 = 0,26$; $P_5 = P_8 = P_9 = P_{10} = P_{11} = 0,09$; $P_7 = P_4 = 0,04$ кВт.

Так как электрическая сеть включает одну трехфазную и две однофазные групповые линии, то принимаем групповой щиток серии ЯРУ8501-3802 с автоматическими выключателями ВА14-26.

Расчет сечения проводников электрической сети производим по допустимой потере напряжения. Для головного участка распределительной сети (участок 0–1) коэффициент, зависящий от системы напряжения и материала: $C_4 = 46$ (табл. 5.6). При принятых располагаемых потерях напряжения в электрической сети $\Delta U_{\text{доп}} = 2,5\%$ расчетное значение сечения проводников (5.7): $S_{0-1} = 1,09 \text{ мм}^2$. Выбираем ближайшее большее стандартное сечение кабеля АВВГ $S_{0-1} (\text{ГОСТ}) = 2,5 \text{ мм}^2$ (табл. 5.1), то есть АВВГ 5×2,5.

Выбранное для головного участка сечение кабеля проходит по механической прочности (табл. 5.7). Для его проверки по допустимому нагреву определяем рабочий ток на участке 0-1 по формуле (5.8): $I_{P(0-1)} = 4,46 \text{ А}$ (при $\cos \varphi = 0,96$). Коэффициент мощности определили по формуле

$$\cos \varphi = (P_{\text{л}} \cos \varphi_{\text{л}} + P_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{н}}) / (P_{\text{л}} + P_{\text{н}}),$$

где $P_{\text{л}}$ и $P_{\text{н}}$ – расчетные мощности светильников с лампами люминесцентными и накаливания;

$\cos \varphi_{\text{л}}$ и $\cos \varphi_{\text{н}}$ – значения коэффициентов мощности для люминесцентных ламп и ламп накаливания.

Так как для кабеля АВВГ сечением $2,5 \text{ мм}^2$, проложенного по строительным основаниям и конструкциям (открыто), допустимый ток $I_{\text{доп}} = 24 \text{ А}$ (табл. 5.8) и выполняется условие $I_{\text{р}} \leq I_{\text{доп}}$, то выбранный кабель по условиям нагрева проходит. Фактические потери напряжения на участке 0–1 (5.11) $\Delta U_{0-1} = 0,09\%$.

Расчет сечения проводников в групповых линиях покажем на примере наиболее протяженной и нагруженной второй линии N_2 (участок 1–10). Располагаемые потери напряжения для участка 1–10 $\Delta U_{1-10} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{0-1} = 2,5 - 0,09 = 2,41$. $C_2 = 7,7$. Сечение проводников, определенное по формуле (5.12): $S_{1-10} = 0,29$. Ближайшее большее стандартное сечение кабеля АВВГ $S_{1-10} (\text{ГОСТ}) = 2,5 \text{ мм}^2$ (АВВГ 3×2,5). Принятое сечение кабеля проходит по механической прочности и допустимому нагреву, так как $I_{\text{р}} \leq I_{\text{доп}}$ ($I_{1-10} = 2,28 \text{ А}$).

Для защиты от токов короткого замыкания принимаем автоматические выключатели с расцепителями на ток 6 А. Ток расцепителей определен из условия $I_{\text{в}} \geq I_{\text{р}}$ (табл. 5.9). Проверка сечения проводников жил кабеля АВВГ на соответствие току расцепителя защитного

аппарата по условию $I_{\text{Доп}} > 0,22 I_{\text{В}}$ подтверждает соответствие тока расцепителя автоматического выключателя выбранному сечению жил кабеля.

Фактические потери напряжения на участке 1–10: $\Delta U_{1-10} = (P_4 l_{1-7} + P_5 l_{1-8} + P_6 l_{1-9} + P_7 l_{1-10}) / (C_2 S_{1-10(\text{ГОСТ})}) = 0,56 \%$. Потери напряжения в конце второй групповой линии составят $\Delta U = \Delta U_{0-1} + \Delta U_{1-10} = 0,64 \%$.

Аналогично производим расчет сечений проводников в других групповых линиях, результаты сводим в табл. 5.10.

Таблица 5.10

Принципиальная электрическая схема осветительной сети

Тип щитка; установленная мощность, кВт; потеря напряжения до щитка, %	Номер группы	Выключатель автоматический			Данные групповых линий				
		Тип	Номинальный ток	Ток расцепителя, А	Установленная мощность, кВт	Расчетный ток, А	Марка, количество и сечение жил	Длина, м	Потеря напряжения, %
ЯРН8501-3802; РУ-2,83; $\Delta U_{0-1} = 0,09 \%$	1	ВА14-26-34	32	6	0,6	1	АВВГ 5×2,5	35	0,87
	2	ВА14-26-34	32	6	0,48	2,3	АВВГ 3×2,5	42	0,64
	3	ВА14-26-34	32	6	0,85	4,2	АВВГ 3×2,5	24	0,36
	4	ВА14-26-34	Резерв						

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие системы электроснабжения применяют для энергообеспечения светотехнических установок на сельскохозяйственных объектах?

2. По какому признаку и на какие виды разделяют электрическую сеть в системах электроснабжения объектов сельскохозяйственного производства?

3. Какие требования регламентируются ПУЭ к исполнению нулевого рабочего и защитного проводников?

4. По каким параметрам рассчитываются сечения проводников электрических сетей осветительных установок?

5. Как определяют расчетную и установленную мощности токоприемников электрической сети осветительных установок?

6. Напишите формулу для расчета сечения провода участка электрической сети с одинаковым количеством проводов и поясните физический смысл входящих в нее величин.

7. Напишите формулу для расчета сечения проводов участков разветвленной электрической сети с различным количеством проводов и поясните физический смысл входящих в нее величин.

8. Как определить значение допустимых потерь напряжения в электрической сети светотехнических установок и на ее отдельных участках?

9. Как проверить сечение проводников электрической сети на выполнение требований механической прочности, допустимого нагрева?

10. Какие аппараты используются для защиты электрических сетей от коротких замыканий? По каким параметрам определяют ток вставки их защитных элементов?

11. Какие электрические сети светотехнических установок защищают от перегрузок?

12. Поясните, как и для чего осуществляется проверка сечения проводников электрической сети на соответствие току вставки защитного аппарата.

6. ЭКСПЛУАТАЦИЯ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Старение ламп и уменьшение излучаемого ими светового потока, накопление пыли и грязи на отражающих и рассеивающих поверхностях светильников, а также постепенное ухудшение отражающих свойств поверхностей помещений способствуют постепенному снижению светового потока, достигающего рабочей поверхности, а следовательно, и уровня ее освещенности. Снижение освещенности в процессе эксплуатации учитывается уже на стадии проектирования, когда в расчетные формулы вводится коэффициент запаса K_3 . При этом новая светотехническая установка должна обеспечить освещенность рабочей поверхности $E = E_H K_3$, где E_H – нормируемая минимальная освещенность.

С учетом регулярных чисток светильников и своевременной замены отслуживших срок службы ламп изменение уровня освещенности в процессе эксплуатации $E = f(t)$ носит пилообразный характер, постепенно приближаясь к минимально допустимому значению (рис. 6.1). Из рисунка видно, что при очередной чистке светильников (t_1, t_2, \dots, t_8) уровень освещенности рабочей поверхности возрастает, однако не достигает своего первоначального значения из-за старения ламп и постепенного ухудшения отражающих свойств поверхностей светильников и помещения. То же отмечается и при замене ламп ($t_{3,л}$) – уровень освещенности возрастает, но не достигает первоначального значения из-за ухудшения отражающих свойств поверхностей светильников и помещения. Старение ламп является неизбежным процессом при эксплуатации, степень же загрязнения светильников и поверхностей является контролируемым процессом и при условии налаженной эксплуатации может быть сведена к минимуму.

Основной задачей эксплуатации является обеспечение нормируемых светотехнических параметров, заложенных при проектировании установки, путем ее своевременного обслуживания, что предусматривает мониторинг за работой светотехнических приборов, измерение светотехнических параметров на рабочей поверхности, своевременную замену ламп и чистку светильников, проведение их планово-предупредительных ремонтов, а также модернизацию установок с применением более эффективных источников и светильников.

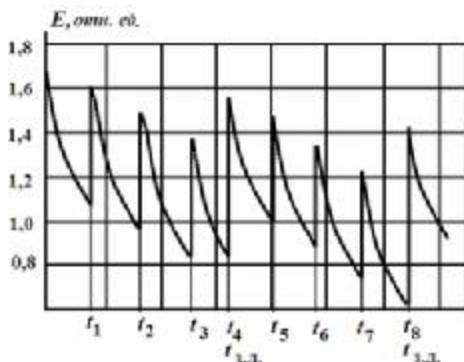


Рис. 6.1. Пример изменения освещенности поверхности в процессе эксплуатации светотехнической установки:

t_1, t_2, \dots, t_8 – время чистки светильников; $t_{3.л.}$ – время замены перегоревших ламп

Эксплуатацию должен осуществлять подготовленный электротехнический персонал.

6.1. Особенности эксплуатации светотехнических установок

6.1.1. Организация эксплуатации

Правила технической эксплуатации электроустановок [16] обязывают потребителя обеспечить:

- содержание электроустановок в работоспособном состоянии и их эксплуатацию в соответствии с требованиями правил безопасности и других нормативно-технических актов;

- своевременное и качественное проведение технического обслуживания (ТО), планово-предупредительного ремонта (ППР), испытаний, модернизаций и реконструкции светотехнических установок и оборудования;

- подбор электротехнического персонала, организацию его периодических медицинских осмотров, инструктажей по безопасности труда и пожарной безопасности;

- охрану труда электротехнического персонала, его обучение и проверку знаний;

- надежность работы и безопасность эксплуатации электроустановок, их укомплектованность защитными средствами, средствами пожаротушения и инструментом;

– учет, рациональное расходование электрической энергии и проведение мероприятий по энергосбережению;

– проведение необходимых испытаний электрооборудования, измерительных приборов и средств учета электрической энергии.

Для выполнения указанных требований у потребителя создается энергетическая служба предприятия (хозяйства), укомплектованная соответствующим по квалификации персоналом. При этом часть ее полномочий и обязанностей может быть передана специализированным межхозяйственным производственно-эксплуатационным предприятиям на основании заключенных между ними договоров.

Основу внутрихозяйственной энергетической службы составляют электротехническая служба и служба теплофикации. При наличии определенных объемов работ дополнительно создаются службы обслуживания холодильного оборудования, средств диспетчерской связи, контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА), газификации, энергетического оборудования коммунально-бытовых объектов.

В зависимости от объема и сложности работ по эксплуатации электроустановок энергетические службы предприятий комплектуются штатом инженерно-технических работников. При этом правила [16] обязывают, чтобы на каждом предприятии приказом или распоряжением администрации из числа специально подготовленного электротехнического персонала было назначено лицо, отвечающее за общее состояние эксплуатации всего электрооборудования.

Структура энергетической службы разных предприятий отличается большим разнообразием. Установленные типовые штатные расписания служб, нормы численности обслуживающего персонала и типовые схемы организации эксплуатации, как правило, отсутствуют или не соблюдаются. В зависимости от объема энергохозяйства предприятия службу возглавляет главный (старший или инженер-энергетик), который находится в подчинении главного инженера предприятия.

Электротехническая служба ведет работы по трем основным направлениям: эксплуатация, текущий ремонт, монтаж и наладка нового электрооборудования.

Электротехнический персонал службы эксплуатации проводит плановое ТО электрооборудования в местах его установки. Персонал,

как правило, разделяют на отдельные бригады, закрепленные за определенными участками обслуживания. Бригадами руководят старшие из персонала, имеющие более высокий разряд или, при равных разрядах, более высокую группу допуска по технике безопасности. Персонал службы осуществляет ТО электрооборудования, устраняет дефекты, обнаруженные при обслуживании, ведет учет потребления электроэнергии и выполняет тому подобные работы.

Персонал службы ремонта выполняет работы по: текущему ремонту электрооборудования в местах его установки; демонтажу оборудования, подлежащего ремонту в стационарных условиях, доставку его на пункты технического обслуживания и обратно, установке на место, наладке и проверке работоспособности; сбору, доставке и комплектованию электрооборудования для отправки на специализированные предприятия для производства капитального ремонта.

В отдельных случаях при наличии объема работ по обслуживанию и ремонту КИПиА в составе электротехнической службы могут быть созданы отдельные группы по их обслуживанию и ремонту. Однако техническая сложность современных КИПиА и не всегда достаточная для их обслуживания и ремонта квалификация персонала указывают на то, что эту часть полномочий целесообразнее передать специализированным предприятиям на основании заключенных с ними договоров.

В обязанности оперативной дежурной группы входят: производство необходимых отключений и переключений; устранение мелких неисправностей, возникших в процессе эксплуатации, с проведением необходимых проверок, регулировок и настроек; контроль выполнения персоналом правил эксплуатации электрооборудования и техники безопасности. В обязанности руководителя группы кроме основной работы входят: контроль работы персонала группы; прием заявок от объектов на обслуживание электрооборудования и распределение персонала согласно полученным заявкам; обеспечение персонала инструментами, приборами, приспособлениями, материалами и запасными частями; контроль состояния защитных средств и соблюдения правил техники безопасности; ведение технической документации.

При организации эксплуатации светотехнические установки, как правило, не выделяют в отдельную группу, а их эксплуатацию,

ремонт и обслуживание осуществляют совместно с другим электрооборудованием. Тем не менее, если количество персонала, необходимое для эксплуатации светотехнических установок и определяемое затратами труда на выполнение этих работ, достаточно для организации отдельной группы, то создание подобной специализированной группы всегда является экономически целесообразным, что обусловлено спецификой проведения работ.

При организации отдельной группы для эксплуатации светотехнических установок на нее возлагаются следующие обязанности:

- прием в эксплуатацию вновь смонтированных или реконструированных установок;

- постоянный мониторинг за состоянием установок и их составляющими;

- своевременное и качественное проведение ТО, включающего чистку светотехнических приборов и замену источников света, ППР и испытаний;

- обеспечение мер по рациональному использованию и экономии электрической энергии, расходуемой на освещение;

- обеспечение установок запасом светотехнических приборов, комплектующих изделий к ним и источников света;

- обеспечение проведения природоохранных мероприятий, в первую очередь определяемых проблемой дезактивации ртути вышедших из строя газоразрядных ламп.

Потребное количество персонала электротехнической службы для выполнения комплекса работ по эксплуатации светотехнических установок можно определить по инструктивным указаниям [34] в зависимости от средств доступа к светильникам, способов удаления пыли, типа источников и конструктивного исполнения светильников. Штатное расписание инженерно-технических работников определяется исходя из следующих нормативов [35]: при установленной мощности светотехнических установок от 250 до 750 кВт – один техник-светотехник; от 750 до 2000 кВт – один инженер-светотехник; от 2000 до 3500 кВт – один инженер-светотехник и один техник-светотехник.

Для обслуживания установок наружного освещения можно, учитывая опыт обслуживания улиц при механизированных средствах доступа к светильникам, рекомендовать при двух чистках в год одного электромонтера примерно на 500 светильников, а при четырех – на 300.

6.1.2. Порядок и объем работ по техническому обслуживанию и ремонту

Организация эксплуатации начинается с приемки новой (реконструированной или подвергшейся капитальному ремонту) светотехнической установки. Для приемки в эксплуатацию создается комиссия, состав которой утверждает главный инженер предприятия-заказчика. В состав комиссии входят представители заказчика (председатель комиссии), подрядчика, проектной организации, технической инспекции профсоюзов, санитарного и пожарного надзоров, других организаций.

Комиссия проверяет соответствие выполненных работ проектной документации и исполнительным чертежам, качество работ, результаты индивидуального и комплексного апробирования оборудования. Результаты работы комиссии отражаются в письменном заключении о готовности объекта к эксплуатации, в котором указываются дефекты и недоделки, допущенные в ходе монтажа и выявленные в процессе приемосдаточных и пусконаладочных испытаний.

В процессе приемки комиссия обязана: провести выборочные замеры напряжения на ближайших и удаленных со стороны питания светотехнических приборах; провести контрольные замеры светотехнических параметров в помещениях и на отдельных рабочих местах; выбрать и нанести на чертежи контрольные точки, в которых в процессе эксплуатации периодически должны они измеряться; проверить наличие и исправность приспособлений и технических средств быстрого и безопасного доступа к оборудованию.

При проведении измерений светотехнических параметров, в частности, освещенности, следует учитывать, что газоразрядные источники излучают заявленный в паспорте световой поток не ранее, чем после 100 часов работы. При пуске новой установки в эксплуатацию освещенность в контрольных точках должна превышать нормированное значение не менее чем на величину коэффициента запаса. Во время измерений следует учитывать, что при отклонении напряжения от номинального в момент измерения фактический уровень освещенности при номинальном напряжении следует определять расчетным путем, хотя бы с использованием формулы

$$E_{\text{ФАКТ}} = E_{\text{ИЗМ}} \frac{U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}} - K(U_{\text{НОМ}} - U_{\text{ИЗМ}})}, \quad (6.1)$$

где $E_{\text{ФАКТ}}$ – освещенность при номинальном напряжении, лк;
 $E_{\text{ИЗМ}}$ – значение освещенности, полученное в результате измерения, лк;
 $U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение сети, В;
 K – коэффициент, учитывающий изменение освещенности при изменении напряжения сети от номинального значения.

Коэффициент K в расчетах приблизительно может быть принят равным: для ламп накаливания – 4,0; для люминесцентных ламп, включенных с индуктивным балластным сопротивлением, – 2,0; для газоразрядных ламп высокого давления типа ДРЛ – 2,0 и типа ДРИ – 3,0.

Подключение электроустановки к электрической сети осуществляется энергоснабжающей организацией на основании наряда, выданного госэнергонадзором.

Обслуживание светотехнических установок во время эксплуатации осуществляется путем проведения осмотров их состояния, ППР и периодического ТО.

Осмотр состояния оборудования и электропроводки, испытание и измерение сопротивления изоляции проводов, кабелей и заземляющих устройств проводятся при вводе установки в эксплуатацию и в дальнейшем по графику, утвержденному ответственным за электрохозяйство, но не реже одного раза в три года. Результаты замеров оформляются актом (протоколом) в соответствии с нормами и объемом проведенного испытания, а результаты осмотра заносят в специальный журнал. При осмотре незначительные дефекты, такие как, например, перекос светильника и экранирующей решетки, шум дросселя, перегоревшая лампа или стартер и т. п., устраняют на месте, а сведения об оборудовании, подлежащем капитальному ремонту, передают в группу ремонта для проведения ремонта или замены на исправное.

ТО установок, включающее регулярную чистку светотехнических приборов, замену перегоревших ламп, мелкий ремонт и др., производится по заранее разработанным графикам, а также в период профилактического осмотра и ППР (табл. 6.1). Периодичность работ по чистке светотехнических приборов и проверке их технического состояния устанавливается ответственным за электрохозяйство потребителя.

Таблица 6.1

Сроки профилактического осмотра осветительных установок

Вид периодических осмотров	Периодичность осмотра
Проверка уровней освещенности в осветительных установках внутреннего и наружного освещения	1 раз в год
Проверка исправности аварийного освещения при отключении рабочего освещения	2 раза в год
Проверка состояния внутреннего и наружного освещения (наличие стекол, решеток и сеток в светильниках, исправность уплотнения светильников специального исполнения и т. д.), а также исправности крепежных деталей и контактов	При чистке светильников
Чистка светильников и смена ламп	См. табл. 3.5 и 6.4
Проверка состояния стационарного оборудования и электропроводки рабочего и аварийного освещения на соответствие номинальных токов расцепителей расчетным значениям	1 раз в год
Испытание и измерение сопротивления изоляции проводов и кабелей рабочего и аварийного освещения, проверка заземления светильников: – в помещениях с нормальными условиями среды; – в сырых помещениях и в помещениях с химически активной средой	1 раз в год 2 раза в год
Измерение нагрузок и напряжений в отдельных точках электрической сети	1 раз в год
Испытание изоляции стационарных и переносных трансформаторов с вторичным напряжением 12...42 В	1 раз в год
Осмотр опор, кронштейнов и тросовых растяжек	2 раза в год

Типовые объемы работ по ТО и ремонту светотехнических установок приведены в приложении 27. Средние значения трудоемкости и периодичности ТО и текущего ремонта светотехнического оборудования приведены в табл. 6.2 и 6.3.

Все работы по ТО и ремонту светотехнической установки и ее элементов в обязательном порядке должны проводиться при полном соблюдении требований Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей [36]. Любой вид ТО или ремонта необходимо производить при снятом напряжении с групповой линии, питающей элемент установки (светильник, выключатель, переключатель и т. п.), который подвергается обслуживанию или ремонту. Если конструкция светильника обеспечивает возможность отключения от питающих проводов всего светильника или его части, допускается обслуживать отсоединенный светильник или его часть при наличии напряжения в групповой сети.

Таблица 6.2

Примерные значения трудоемкости технического обслуживания и текущего ремонта светотехнического оборудования

Светотехническое оборудование	Трудоемкость, чел. · ч.	
	технического обслуживания	текущего ремонта
Светильники для сухих и влажных помещений:		
– с лампами накаливания;	0,1	0,25
– с газоразрядными лампами	0,13	0,3
Светильники для помещений сырых, особо сырых и с химически активной средой:		
– с лампами накаливания;	0,15	0,4
– с газоразрядными лампами	0,2	0,5
Облучатели тепличные с газоразрядными лампами высокого давления	0,5	1,0

Таблица 6.3

Периодичность технического обслуживания и текущих ремонтов
светотехнического оборудования

Светотехническое оборудование	Периодичность, мес.	
	технического обслуживания	текущего ремонта
Светильники для сухих и влажных помещений	6	24
Светильники для сырых и особо сырых помещений	3	24
Светильники для сырых и особо сырых помещений с химически активной средой	3	12
Облучатели тепличные с газоразрядными лампами высокого давления	6	12

При ТО светотехнических приборов на месте их установки независимо от используемых способов чистки и средств доступа следует произвести следующие операции: отключить прибор от питающей сети; снять защитную сетку (при ее наличии), рассеиватель (или экранирующую решетку) и положить их на рабочую площадку; вынуть (вывернуть) лампу и положить ее на рабочую площадку; проверить крепление комплектующих элементов (ПРА, электроустановочных изделий и т. п.) и состояние электрических контактов; очистить от пыли отражатель, рассеиватель (или экранирующую решетку); установить на место лампу, предварительно очистив ее от загрязнений, а при ее неисправности заменить новой; очистить от пыли и загрязнений все снятые детали и установить их на место; подключить светильники к электрической сети.

При неудобстве обслуживания светотехнического прибора на месте и необходимости отсоединения узла подвеса для его очистки следует сначала произвести это отсоединение, положить прибор на рабочую площадку, произвести указанные выше операции, а затем установить на место. Если при обслуживании обнаруживается непригодность прибора для дальнейшей эксплуатации, следует отсоединить его от питающей сети, снять с места установки и заменить исправным.

Для работ по ТО светотехнических установок следует подготовить необходимый инструмент (пассатижи, индикаторы напряжения, отвертки), монтерские пояса, каски, хлопчатобумажные перчатки и др. Средства защиты, инструмент и приспособления, применяемые электротехническим персоналом при обслуживании и ремонте установок, должны подвергаться осмотру и испытаниям в соответствии с требованиями Правил [8, 16] и удовлетворять требованиям соответствующих государственных стандартов.

У электротехнического персонала, обслуживающего электрические сети светотехнических установок, должны быть схемы сети, запас калиброванных вставок, соответствующих светотехнических приборов и ламп. При использовании средств «малой механизации» (пылесосов, механизированных щеток и т. д.) они должны быть подготовлены к работе и подключены к электрической сети. Для сухой или влажной чистки светильников необходимо иметь ветошь, тряпки и емкости с водой или раствором.

6.1.3. Способы и сроки чистки светотехнических приборов и источников

Спад светового потока светотехнических приборов вследствие их запыления зависит от условий среды (концентрации и характера пыли, условий вентиляции), в которой они эксплуатируются, и их конструкции (открытые, с решетками, уплотненные и пр.). Пыль, осаждающаяся на внутренней поверхности приборов, изменяет их светоотражающие параметры. Их покрытия тускнеют и темнеют, что приводит к уменьшению коэффициента отражения и снижению КПД. Изменяется светораспределение и оно становится менее централизованным.

Степень запыления, как правило, зависит от концентрации пыли в помещении, конструктивных схем приборов, а также материала и покрытия отражателей и рассеивателей. Приборы, выходное отверстие которых защищено от пыли, имеют меньший спад светового потока, чем открытые. При перекрытом исполнении, имеющие неуплотненное защитное стекло, они способны затягивать пыль внутрь за счет конвективных тепловых потоков и так называемого «дыхания» при их включении и выключении. Светотехнические приборы с различными материалами отражателя, работающие в одних и тех же условиях, запыливаются по-разному. При малом

запылении материал отражателя практически не влияет на степень запыления. На рис. 6.2 приведены кривые снижения освещенности в зависимости от запыления светильников с люминесцентными лампами различного конструктивного исполнения.

В процессе эксплуатации светотехнических установок из-за старения материалов конструктивных элементов приборов, возникающего в результате многократных чисток, происходит необратимое снижение КПД. Оно характеризуется коэффициентом восстановления K_B , определяемым как $K_B = \eta_H / \eta_N$, где η_H – начальный КПД прибора и η_N – КПД после N чисток. Наибольшее значение K_B наблюдается у светильников с отражателями из твердого материала, но даже они к 8 годам эксплуатации (нормативному сроку службы светильников) при содержании пыли в рабочей зоне свыше 5 мг/м^3 имеют значение K_B , равное $0,65 \dots 0,8$. Малопригодны к эксплуатации в тяжелых условиях окружающей среды приборы с отражателями из мягких материалов, изменяющие даже при малом запылении КПД до $0,57$ первоначального значения к 8 годам эксплуатации.

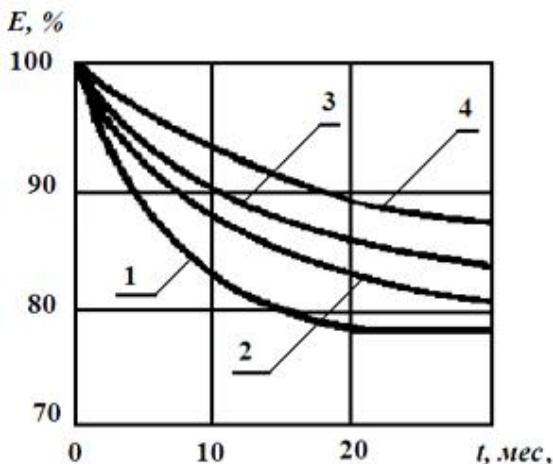


Рис. 6.2. Пример изменения освещенности, создаваемой осветительной установкой с люминесцентными лампами, при запылении светильников:

- 1 – светильники со сплошными отражателями;
- 2 – светильники с отверстиями в отражателях;
- 3 – светильники с отверстиями в отражателях и экранирующими решетками;
- 4 – светильники с отверстиями в отражателях без экранирующих решеток

Степень восстановления первоначального КПД приборов зависит от способа их чистки – сухая протирка, мойка (влажная протирка) мыльным и специальным растворами. Способ чистки определяется условиями среды в помещении, характером пыли и материалом отражателя. Легче всего очищаются от пыли отражатели, покрытые белой силикатной эмалью. Для светильников с люминесцентными лампами, которые по технологическим причинам не покрываются силикатной эмалью, наилучшими являются диффузионные мочевиноформальдегидные эмали, создающие гладкую поверхность.

Из всех способов чистки наименее эффективна сухая протирка, так как при этом пыль и грязь втираются в поры отражателя и трудно удаляются из них. При мойке диффузных отражателей лучше использовать теплую воду с добавлением в нее моющих средств (порошки, паста, сода и пр.), которая по мере загрязнения обновляется. Наиболее эффективны теплые моющие и специальные растворы для помещений с тяжелыми условиями среды, дающие возможность не только сократить число чисток, но и заметно увеличить K_B . Наихудшее восстановление КПД при любом способе чистки имеют приборы с мягким покрытием отражателя. Отражатели с зеркальной поверхностью очищают только мягкой ветошью без твердых включений, не оставляющей царапин.

Светотехнические приборы с рассеивателями, экранирующими решетками и защитными стеклами из термопластичных материалов в большей степени запыляются из-за возникновения электростатических зарядов после их протирки. Для предотвращения прилипания пыли к поверхностям после сухой протирки они должны быть обработаны антистатическими жидкостями.

Мойка мыльным раствором светотехнических приборов, эксплуатируемых в помещениях с большим выделением пыли и грязи, не будет достаточно эффективной. Для этих помещений при мойке светильников необходимо использовать специальные составы и растворы.

Чистка приборов общего освещения должна производиться в сроки, указанные нормами искусственного освещения [9] для заданных условий среды и регламентированных значений коэффициента запаса или отраслевыми нормами [10], утвержденными в установленном порядке (табл. 6.4). При этом чистку светильников целесообразно совмещать с заменой перегоревших ламп.

Таблица 6.4

Рекомендуемая периодичность чистки светильников

Помещения и территории	Число чисток в год, не менее
1. Производственные помещения с воздушной средой, содержащие в рабочей зоне пыли, дыма, копоти с концентрацией, $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$	
– свыше 5;	18
– от 1 до 5;	6
– менее 1;	4
– значительные концентрации паров, кислот, щелочей, газов, характеризующихся большой коррозионной способностью, а также способных при соприкосновении с влагой образовывать слабые растворы кислот и щелочей	6
2. Производственные помещения с особым режимом по чистоте при обслуживании светильников:	
– с технического этажа;	4
– снизу из помещения	2
3. Помещения общественных и жилых зданий:	
– пыльные, жаркие и сырые;	2
– с нормальными условиями среды	1
4. Территории промышленных предприятий с воздушной средой, содержащей:	
– большое количество пыли (более $1 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$);	4
– малое количество пыли (менее $1 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$)	2
5. Населенные пункты	1

Примечание. Отраслевые нормы рекомендуют для сельскохозяйственных предприятий производить чистку светильников не реже 1 раза в 3 месяца (4 раза в год).

При эксплуатации светотехнических установок смена перегоревших ламп может производиться групповым или индивидуальным способом, который устанавливается конкретно каждым потребителем в зависимости от сложности доступа к приборам и их количества (мощности установки).

При индивидуальном способе замены ламп производят по мере выхода их из строя. Чаще всего она осуществляется через определенный промежуток времени Δt , зависящий от характера перегорания ламп и срока их службы τ . Значение Δt для различных источников света приблизительно составляет: для люминесцентных ламп – 0,05 τ , для ДРЛ и ДРИ – 0,035 τ , для ламп накаливания – 0,1 τ . В отдельных случаях, когда перегорание одной или нескольких ламп приводит к резкому недопустимому снижению количественных или качественных характеристик светотехнической установки на отдельных рабочих местах или в зонах, требуется немедленная замена вышедших из строя. Индивидуальный способ замены ламп целесообразен для тех установок, в которых выход из строя ламп приводит к резкому снижению освещенности в зоне, прилегающей к данному светильнику, или увеличению коэффициента пульсации светового потока выше допустимого для заданного разряда зрительных работ. Это имеет место во всех установках, выполненных лампами накаливания, ДРЛ и ДРИ, в небольших установках с люминесцентными лампами (при наличии в одном помещении не более 30 светильников), во всех установках наружного освещения территорий предприятий.

При групповом способе замена всех ламп, как отказавших, так и работающих, производится по истечении определенного времени. Необходимость проведения групповой замены обуславливается тем, что все источники, и в особенности газоразрядные, в процессе работы снижают первоначальный световой поток. Так, к концу срока службы газоразрядные лампы излучают примерно 50...60 % первоначального светового потока. Несмотря на то, что отдельные лампы могут проработать даже двойной номинальный срок службы, эффективность их в это время невысока, так как они, продолжая потреблять первоначальное количество электрической энергии, излучают световой поток намного меньше номинального. В связи с этой особенностью газоразрядных ламп рекомендуется проведение их групповой замены.

Групповой метод требует предварительного экономического обоснования, так как расход источников при этом по сравнению с методом индивидуальной замены увеличивается. При групповом способе сроки очередной чистки приборов должны быть приурочены к срокам групповой замены ламп.

Интервал между двумя заменами принято называть временем групповой замены ламп $t_{гр}$. Продолжительность его определяется стабильностью светового потока ламп и интенсивностью выхода их из строя, а также стоимостью ламп и обслуживания. Чем реже производится групповая замена, тем ниже будет эксплуатационный уровень освещенности и выше должно быть значение вводимого при проектировании K_3 . Это влечет за собой увеличение всех расходов, за исключением стоимости ламп. Уменьшение времени $t_{гр}$ из-за большего значения эксплуатационного уровня освещенности приводит к уменьшению K_3 , а следовательно, и расходов. Стоимость же замены ламп в этом случае возрастает.

На практике, как правило, не применяется чисто групповая замена, а чаще всего используется индивидуально-групповая, при которой в промежутке между групповыми заменами через определенный интервал времени производится замена ламп, вышедших из строя за это время. Этот способ позволяет повысить эксплуатационный уровень освещенности и ввести при проектировании меньшее значение K_3 . Применение индивидуально-группового способа замены целесообразно лишь для дешевых и массовых источников света, какими, например, являются люминесцентные лампы. Лампы типа ДРЛ, ДРИ и ДНаТ из-за их еще высокой стоимости экономически целесообразно заменять индивидуально.

Время групповой замены люминесцентных ламп должно составлять приблизительно 80 % их номинального срока службы, то есть 12 000 ч при индивидуальной «подзамене» перегоревших ламп через $t = 0,05 \tau$ или 750 ч.

Сопоставляя способы замены ламп, следует отметить, что групповая замена имеет преимущества перед индивидуальной:

- время замены ламп можно выбирать с учетом минимальных нарушений технологического процесса;
- стартеры и пускорегулирующие аппараты не работают в трудных для них условиях пуска, возникающих в конце срока службы газоразрядных ламп;
- установка имеет более эстетичный вид при использовании в ней ламп одного и того же времени эксплуатации;
- замена ламп может совмещаться с процессом очередного ТО светильников, что уменьшает затраты на эксплуатацию установки.

Недостатком групповой замены является увеличенный расход ламп. Однако часть ламп, которые еще пригодны к эксплуатации, могут в дальнейшем быть использованы во вспомогательных помещениях, где затраты на их замену несколько ниже.

При любом способе замены необходимо, чтобы освещенность на рабочих поверхностях во время эксплуатации не снижалась более чем на 10 % от нормированного значения.

Для своевременной замены ламп необходимо создавать их запас. Количество запасных ламп n (типов и мощностей) может быть определено из следующего выражения:

$$n = \frac{N T k}{t}, \quad (6.2)$$

где N – количество источников света данного типа и мощности в светотехнических установках предприятия;

T – годовое число часов использования установки;

k – коэффициент, определяющий запас (при годовом запасе $k = 1$, при полугодовом – $k = 0,5$ и т. д.),

t – средний срок службы ламп данного типа.

6.1.4. Средства доступа к электротехническим изделиям светотехнических установок

Учитывая, что приборы, источники и электротехническое оборудование светотехнической установке расположены на некоторой высоте от пола (земли), для организации их монтажа и эксплуатации необходимы специальные приспособления, обеспечивающие доступ к ним обслуживающему персоналу.

В качестве средств доступа к светотехническим приборам установок внутреннего освещения применяют специальные приставные лестницы, стремянки, сборно-разборные подмости, мостовые краны, стационарные мостики, специальные передвижные устройства. Эти и другие подобные им средства доступа должны обеспечивать удобное и безопасное проведение работ при подъеме человека на требуемую высоту.

Средства доступа могут быть: напольными или расположенными в зоне размещения светильников; стационарными, переносными или подвижными; перемещаемыми (вручную, механически, самоходными) или неподвижными. Все остальные показатели (масса,

высота подъема, вылет стрелы и т. п.), являются техническими характеристиками, по которым их выбирают в зависимости от реальных условий эксплуатации и технико-экономических соображений.

Все средства доступа для выполнения работ на высоте должны быть заводского изготовления или изготовленными строго в соответствии с техническими нормативными документами (по типовым проектам), идентифицируемыми инвентарными номерами и находиться на учете предприятия. Применять неинвентарные средства допускается в исключительных случаях по разрешению главного инженера (начальника участка) только для одноразового использования и при обязательном соблюдении требований техники безопасности.

При высоте подвеса светотехнических приборов до 5 м допускается их обслуживание с приставных лестниц и стремянки. В случае расположения на большей высоте разрешается обслуживание с сборно-разборных подмостей, мостовых кранов, стационарных мостиков или передвижных устройств при соблюдении мер безопасности, установленных правилами безопасности при эксплуатации электроустановок и местными инструкциями.

Для обслуживания светотехнических установок объектов сельскохозяйственного производства, размещаемых на относительно небольшой высоте от пола (земли), преимущественно применяются напольные средства доступа – приставные лестницы и стремянки.

Лестницы и стремянки промышленного производства, как правило, изготавливают из алюминиевого профиля (рис. 6.3). Однако в условиях хозяйства для их изготовления часто используют сухой без явных сучков древесный брус из дуба, ясеня, высших сортов осины. При этом их ступени должны быть врезаны шипами в тетивы, которые через 2 м следует скреплять стяжными болтами (шпильками). Нижние концы лестницы должны иметь опоры в виде острых металлических шипов или резиновых наконечников в зависимости от материала опорной поверхности (дерево, земля или бетон, асфальт, керамическая плитка). На высоте 1,2...1,5 м стремянки должны быть установлены крючки с ушками, расположенными в шахматном порядке, для предохранения створок от сдвигания и раздвигания. Длина лестниц и стремянки определяется исходя из следующих условий: лестницы должны устанавливаться под углом около 60° к горизонту, стремянки – с уклоном не более

1:3 (отношение разбега у основания к высоте); работы должны проводиться человеком, стоящим на третьей от верха ступени лестницы или стремянки. Инвентарные подвесные и приставные лестницы должны иметь ширину не менее 40 см, а расстояние между ступенями – не более 35 см. Длина приставной лестницы не должна превышать 5 м.

Работы с применением лестниц производятся двумя лицами, одно из которых находится внизу. Перед приемкой в эксплуатацию и 1 раз в год в течение эксплуатации лестницы необходимо испытывать статической нагрузкой 2 кН в течение 2 мин, приложенной к одной из ступеней в середине пролета лестницы, установленной под углом 75° к горизонту.

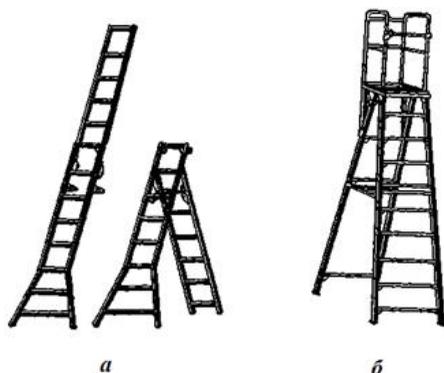


Рис. 6.3. Напольные средства доступа к осветительным приборам:
а – лестница стремянка типа ЛСМ;
б – лестница с площадкой типа Л-312

Обслуживание светотехнического оборудования установок наружного освещения, как правило, осуществляется с использованием специальных передвижных автоподъемников. Однако при организации обслуживания с помощью автоподъемников следует учитывать, что к работе на высоте допускается обслуживающий персонал, прошедший медицинский осмотр, специальное обучение по технике безопасности и имеющий соответствующее удостоверение.

Выбор наиболее целесообразных технических средств для обслуживания светотехнических установок конкретного предприятия должен быть осуществлен путем сопоставления капитальных затрат на приобретение (или изготовление) средств доступа и эксплуатационных расходов, связанных с их содержанием и использованием.

6.1.5. Характерные неисправности светотехнического оборудования и способы их устранения

При очередном ТО, замене источников и профилактическом ремонте оборудования выявляются и устраняются появившиеся неисправности, выясняются возможные причины возникновения неполадок в работе и предпринимаются меры по их устранению или уменьшению их вредного действия.

При анализе причин возникновения неполадок в работе светотехнического оборудования следует особо учитывать влияние условий окружающей среды на его работоспособность, особенно при использовании газоразрядных источников. Так надежность зажигания люминесцентных ламп при температуре менее 20 °С резко снижается, и уже при температуре ниже 5 °С они с все еще распространенными стартерными ПРА могут не зажигаться. Снижение температуры с 20 до 10 °С или повышение с 30 до 40 °С уменьшает световой поток лампы в среднем на 8...10 %.

Надежность зажигания люминесцентных ламп зависит также от значения относительной влажности окружающего воздуха. Наибольшее напряжение зажигания требуется при относительной влажности более 75 %, что наблюдается в животноводческих помещениях. При повышении относительной влажности, особенно при неблагоприятной температуре (ниже +10 или выше +35 °С), напряжение зажигания возрастает настолько, что ПРА не в состоянии зажечь лампу.

Отмеченные факторы часто являются основными причинами низкой надежности зажигания люминесцентных ламп в сельскохозяйственных светотехнических установках. Поэтому при плохом зажигании газоразрядных ламп низкого давления необходимо в первую очередь обратить внимание на значения относительной влажности и температуры воздуха в помещении, в котором они работают.

Уменьшить влияние относительной влажности и температуры воздуха в помещении на надежность зажигания люминесцентных ламп можно, если покрыть их колбы тонким слоем гидрофобного прозрачного лака или нанести токопроводящую полосу на колбу, наподобие той, которая имеется в люминесцентных лампах мгновенного зажигания, и заземлив или занулив ее.

Газоразрядные лампы низкого и высокого давления подвержены так называемому эффекту хранения: хранившиеся долгое время лампы требуют для первого зажигания более высокого напряжения, чем периодически работающие. Этот фактор необходимо учитывать при наладке установок, особенно работающих в неблагоприятных внешних условиях. Долго хранившиеся лампы перед установкой необходимо несколько раз зажечь на испытательном стенде.

Эксплуатация установок с газоразрядными лампами низкого и высокого давления осложняется тем, что в схемах их управления применяются ПРА, стартеры, конденсаторы, разнообразные полупроводниковые приборы и т. п. Следовательно, неисправности при эксплуатации таких ламп могут быть самыми разнообразными и вызванными не только самой лампой, но и элементами схем их включения в сеть. Если лампа не зажигается, то это еще не означает, что она неисправна. Требуется при этом проверить предварительно исправность электропроводки и отдельных элементов схемы включения.

Часто причины неисправностей в установках с газоразрядными лампами приходится определять в условиях отсутствия специально оборудованных стендов. Для облегчения выхода из подобных ситуаций в приложении 28 приводится описание типичных неисправностей в схемах включения источников света, указываются возможные причины их возникновения и рекомендуемые пути их устранения.

Неисправности в светильниках должны устраняться сразу же после их обнаружения, так как неисправный элемент схемы может явиться причиной пожара или выхода из строя других ее элементов. Работы по осмотру, проверке и ремонту светильников должны быть приурочены ко времени их чистки. Обнаруженные неисправности следует устранять, а пришедшие в негодность части и детали заменяться при ремонте новыми. Это касается только достаточно легко снимаемых частей светильников, таких как патроны, ламподержатели, рассеиватели, защитные стекла, экранирующие решетки, ПРА, стартеры и др. Если пришедшая в негодность часть светильника не может быть заменена, заменяется весь светильник.

К работам по ремонту светильников относится и восстановление надежности контактных соединений и замена зарядных проводов.

6.2. Энергосбережение при проектировании и эксплуатации светотехнических установок

Мероприятия по рациональному использованию электрической энергии в светотехнических установках необходимо реализовывать на всех стадиях их существования – как во время проектирования, так и в период эксплуатации. При этом экономия ни в коем случае не должна достигаться путем уменьшения уровня освещенности рабочих поверхностей ниже нормируемого, невыполнения требований к регламентированным качественным показателям (ослепленности, коэффициента пульсации освещенности и др.) и сокращения времени работы установок. Нельзя достигать мнимой «экономии» за счет отключения части осветительных приборов или отказа от использования искусственного освещения при недостаточной освещенности, в том числе от естественного света. Любые подобные мероприятия приводят к снижению производительности труда или выхода выпускаемой продукции, а технологические потери от ухудшения условий освещения значительно превосходят стоимость «экономленной» таким образом электрической энергии.

Экономия электрической энергии без ущерба для качества освещения рабочих поверхностей, как правило, решается за счет:

- реконструкции физически или морально устаревших установок;
- применения энергоэкономичных источников света, ЭПРА и светильников с оптимальными светораспределением и кривой силы света, высоким значением КПД;
- обеспечения гибкости управления установкой или ее отдельными участками, учитывающей временной график работы оборудования и уровень естественной освещенности;
- увеличения коэффициентов отражения поверхностей помещений, что повышает коэффициент использования светового потока установки;
- организации качественного ТО, включающего регулярную чистку светильников, поверхностей помещения и своевременную замену ламп;
- принятия мер по снижению перенапряжений в электрической сети.

Основы экономии закладываются в процессе проектирования установок – при выборе системы освещения, источников света и светильников, а также при оптимальном размещении светильников в освещаемом пространстве.

ТКП 45-2.04-153–2009 [9] допускают применение в установках искусственного освещения как систему комбинированного, так и систему общего освещения. Выбор наиболее целесообразной из них для каждого конкретного случая необходимо осуществлять на основании сопоставления технико-экономических показателей сравниваемых вариантов.

Проведенный анализ [37, 38] дает основание к утверждению, что целесообразность использования той или иной системы освещения определяется значением площади помещения, приходящейся на одного в нем работающего (табл. 6.5). При этом экономия электрической энергии при применении системы комбинированного освещения может достичь от 15 до 60 % в сопоставлении с применением системы общего освещения.

Таблица 6.5

Рекомендуемые области применения системы комбинированного освещения с точки зрения возможной экономии электрической энергии

Разряд зрительной работы	Система освещения		Экономия электроэнергии при использовании комбинированного освещения, %
	комбинированного	общего	
I, Па, б	Рекомендуется	Не рекомендуется	–
IIв, г	Рекомендуется при $S > 3 \text{ м}^2$	Рекомендуется при $S \leq 3 \text{ м}^2$	до 60
III	Рекомендуется при $S > 5 \text{ м}^2$	Рекомендуется при $S \leq 5 \text{ м}^2$	до 25
IVа, б	Рекомендуется при $S > 10 \text{ м}^2$	Рекомендуется при $S \leq 10 \text{ м}^2$	15...20
IVв, г	Не рекомендуется	Рекомендуется	–

Приоритетным и наиболее эффективным способом уменьшения установленной мощности светотехнической установки является использование источников с высокой световой отдачей. Поскольку газоразрядные источники характеризуются высокой световой отдачей и сравнительно большим сроком службы, нормативные документы рекомендуют их для первоочередного использования. При выборе источников света необходимо помнить, что расход электрической энергии уменьшается при использовании вместо ламп накаливания⁶¹ энергоэкономичных люминесцентных ламп серии Т8 (примерно на 40...60 %), ламп ДРЛ (41...47 %), ДРИ (54...65 %), ДНаТ (57...71 %). Замена люминесцентных ламп на лампы ДРИ позволяет экономить 20...23 % электрической энергии, ламп ДРЛ на лампы ДРИ – 30...40 % и ламп ДРЛ на лампы ДНаТ – 38...50 %.

При выборе источников следует стремиться к использованию их возможно большей единичной мощности, характеризующейся более высокой световой отдачей, при обязательном соблюдении требований к нормируемой освещенности, допустимой мощности источника для принятого светильника и качеству освещения (ослепленности, пульсации освещенности, равномерности освещения и т. п.).

При использовании люминесцентных ламп и отсутствии требований к цветопередаче или цветоразличению следует применять:

- лампы ЛБ, как имеющие наибольшую световую отдачу;
- рефлекторные лампы в светильниках без отражателей, применяемых в помещениях с тяжелыми условиями окружающей среды и большим содержанием пыли (экономия электроэнергии до 20 %);
- амальгамные лампы при повышенной температуре в зоне размещения ламп (экономия электроэнергии до 25 %).

Существенная экономия электрической энергии достигается при использовании ЭПРА, которые в сравнении с индукционным балластным сопротивлением позволяют экономить до 20 % электрической энергии. И это не является единственным преимуществом ЭПРА, так как они обеспечивают: возможность плавного регулирования потока излучения в диапазоне 10...100 % и высокий $\cos\varphi$ (>0,96).

⁶¹ С учетом изменением нормируемой освещенности для ламп накаливания на одну ступень в соответствии с требованиями [9].

Важным резервом экономии электрической энергии является обоснованный подбор эффективных осветительных приборов оптимальной конструкции (по эксплуатационной группе, характеру светораспределения, кривой силы света) и с высоким значением КПД.

Правильный выбор требуемой конструктивно-эксплуатационной группы светильников, предназначенных для эксплуатации в помещениях с тяжелыми условиями окружающей среды, позволяет экономить от 6 до 20 % электрической энергии. Этим показателям экономии достигают, применяя в помещениях с тяжелыми условиями окружающей среды осветительные приборы, например, 5-й (6-й, 7-й) эксплуатационных групп, и, следуя указаниям ТКП 45-2.04-153–2009, уменьшая при расчетах регламентируемое значение коэффициента запаса на 0,2.

Выбор оптимального светораспределения светильников для конкретных условий эксплуатации позволяет экономить от 14 до 40 % потребляемой электроэнергии. Так, для производственных помещений предпочтение следует отдавать светильникам прямого или преимущественно прямого светораспределения с КСС К, Г, Д, а для административных, общественных и жилых помещений – рассеянного, преимущественно отраженного или отраженного светораспределения с КСС М, Л, Ш.

Если необходимо создать требуемый уровень освещенности в горизонтальной плоскости, то наиболее целесообразно применять светильники прямого света класса П, а в помещениях со светлыми стенами и потолком – преимущественно прямого света класса Н. Чем выше помещение и больше нормируемая освещенность, тем более концентрированными КСС они должны характеризоваться (К или Г). По мере уменьшения высоты помещения наиболее выгодны светильники с КСС Г, Д и т. д. Для освещения в вертикальной или наклонной плоскости целесообразны светильники рассеянного света класса Р с полуширокой или равномерной КСС. При освещении произвольно ориентированных наклонных и вертикальных рабочих поверхностей следует помнить, что отношение освещенности вертикальной поверхности к освещенности горизонтальной минимально для светильников с КСС К и увеличивается для М и Л.

Светильники прямого и преимущественно прямого света характеризуются более высокими значениями КПД и требуют установки в них источников меньшей мощности для создания одинакового уровня освещенности. При их использовании обеспечивается лучшая видимость рельефных деталей небольших размеров и легче отыскать мелкие дефекты (поры, трещины, изломы), однако одновременно возможно затенение рабочих поверхностей, особенно от рядом стоящих громоздких предметов.

Если сопоставить значения коэффициентов использования светового потока для различных светильников одного класса светораспределения (например, класса П), то светильники с КСС по мере убывания коэффициента располагаются следующим образом: К–Г–Д–Л–М–Ш–С. Разница особенно заметна для помещений большой высоты, поэтому для таких помещений с точки зрения минимальной установленной мощности выбирают светильники с КСС Г, Д и в отдельных случаях К. С другой стороны, применение светильников с КСС Г, Д и К приводит к уменьшению расстояния между ними и, как следствие, удорожанию установки.

Проведенный анализ показывает, что применение светильников с КСС К вместо аналогичных с КСС Г дает возможность получить экономию электроэнергии около 15 %, а при замене светильников с КСС Д-3 на аналогичные с КСС Г-1, Г-2, Г-3, К-1, К-2 или К-3 экономия достигает 30...40 %.

Важным вопросом в деле экономии электрической энергии и снижения затрат является совершенствование схем питания и распределения электрической энергии, применение рациональных систем автоматического управления, позволяющих осуществлять своевременное полное или частичное включение и отключение установок, максимально использовать естественное освещение. Сюда же можно отнести и рациональный выбор места размещения пунктов питания и прокладки трасс сетей, а также выбор напряжения питания источников. Например, применение газоразрядных ламп высокого давления с номинальным напряжением 400 В целесообразно не только на предприятиях, где используется система напряжения 690/400 В, но и при напряжении 400/230 В. Использование напряжения 690/400 В для питания осветительных установок в крупных производственных зданиях и сооружениях позволяет получить экономию электроэнергии от 3 до 13 %.

Значительная экономия электроэнергии, расходуемой на освещение, может быть получена за счет максимального использования естественного освещения в сочетании с автоматическим управлением искусственным освещением. В помещениях должно обеспечиваться отключение рядов осветительных приборов, расположенных параллельно окнам, что может дать снижение расхода электрической энергии на 5...10 %, а в помещениях с совместным (естественным и искусственным) освещением рекомендуется производить включение и отключение отдельных групп осветительных приборов в зависимости от уровня освещенности, создаваемого естественным светом в различных зонах помещения. Эта мера дает экономию электрической энергии порядка 10...20 %. Для наружного освещения территорий предприятий и населенных пунктов целесообразно устройство централизованного дистанционного автоматического управления, что дает экономию электрической энергии в размере 10...15 %.

Наибольшая экономия электрической энергии достигается при полной автоматизации управления с учетом использования естественного освещения, присутствия людей в помещении, времени и продолжительности производственного процесса. При этом управление может достигаться как путем дискретного отключения всех или части светильников, так и плавным изменением мощности источников света (каждого, группы или всех светильников).

Проблемы экономии электрической энергии должны решаться не только на стадии проектирования, изготовления или модернизации осветительных установок или систем их автоматического управления, но и при организации эксплуатации. Только из-за отсутствия и ненадлежащего систематического обслуживания, приводящего как минимум к двукратному снижению КПД осветительных приборов из-за загрязнения ламп, отражателей светильников, поверхностей стен и потолка в помещении и несвоевременной замены ламп в сельскохозяйственных осветительных установках нерационально расходуется до 40...50 % электрической энергии. Это обусловлено тем, что существующий уровень эксплуатации и спад световых потоков источников за время эксплуатации принимается во внимание завышением при проектировании их установленной мощности, как правило, в 1,5...2 раза.

Эта мера позволяет поддерживать во время эксплуатации требуемый уровень освещенности, но приводит к неоправданным потерям электрической энергии.

В мероприятия по экономии электрической энергии необходимо включать чистку остеклений окон и световых фонарей с периодичностью не реже двух раз в год (что позволит сократить время работы установки искусственного освещения в среднем на 3...6 %), а также заблаговременную окраску колонн, ферм, стен, потолка и производственного оборудования в светлые тона. Окраска поверхностей помещений производственных и общественных зданий в светлые тона и их своевременная очистка от пыли и грязи позволяет повысить коэффициент использования светового потока осветительной установки и получить экономию 10...18 % электроэнергии.

В осветительных установках при отклонении напряжения от номинального значения возможен перерасход электрической энергии. Основными причинами колебаний напряжения в сети являются: пусковые токи электродвигателей большой мощности; изменение силовой нагрузки в течение суток, особенно ее уменьшение в ночное время; неравномерность загрузки фаз электрической сети. Поэтому одним из мероприятий экономии электрической энергии является поддержание во время эксплуатации уровней напряжения питания в электрических сетях в допустимых пределах ($\pm 5\% U_{\text{НОМ}}$).

Увеличение напряжения питания сверх номинального значения приводит к возрастанию потребляемой мощности, светового потока и световой отдачи, как правило, всех источников, как газоразрядных, так и ламп накаливания (табл. 6.6). Однако при этом наблюдается сокращение срока их службы и необходимость более частой замены, что повышает эксплуатационные затраты из-за возрастания расходов по оплате электрической энергии, дополнительному приобретению ламп и трудозатрат при их замене. Уменьшение напряжения до значений ниже номинального приводит к увеличению срока службы ламп и уменьшению их потребляемой мощности (светового потока и световой отдачи), что влечет за собой недополучение продукции и снижение производительности труда работающих.

Таблица 6.6

Примерное увеличение потребляемой мощности и снижение срока службы источников света при повышении напряжения питания [16]

Повышение напряжения, %	Повышение потребляемой мощности, %			Средний срок службы, %	
	Лампы накаливания	Люминесцентные лампы	Лампы типа ДРЛ	Лампы накаливания	Газоразрядные лампы
0	0	0	0	100,0	100,0
1	1,6	2,0	2,4	87,1	95,0
2	3,2	4,0	4,9	75,8	93,0
3	4,7	6,0	7,2	66,2	90,0
5	8,0	10,0	12,2	50,5	85,0
7	11,3	14,0	17,0	38,7	80,0
10	16,3	20,0	24,3	28,0	73,0

6.3. Сравнительная оценка эффективности внедрения нового оборудования

Проектирование новой или модернизируемой установки является многовариантной задачей, включающей поиск не только лучших светотехнических и архитектурных решений, но и наиболее выгодных с экономической и энергетической точек зрения вариантов.

Экономическую целесообразность принимаемого решения при полном соответствии сравниваемых по техническим показателям вариантов оценивают путем сопоставления типовых для подобных расчетов показателей (интегральный эффект, коэффициент роста капитала и срок возврата капиталовложений). Равноценными по светотехническому эффекту считаются такие варианты, для которых расчетные значения освещенности рабочих поверхностей отличаются не более чем на +20...–10 %, а параметры качества освещения (показатели ослепленности, коэффициент пульсации освещенности и др.) не превышают нормируемых значений.

Не вдаваясь в подробности экономических расчетов, покажем только особенности их применения к светотехническим установкам. Так, капитальные затраты K на изготовление установки

определяются стоимостью светильников, одного комплекта источников, материалов и оборудования электрической части и затратами на проектные, строительно-монтажные и пуско-наладочные работы [39]. Их принимают по смете к проекту или рассчитывают по формуле

$$K = C_{\text{ОБ}} + C_{\text{ПР}} + C_{\text{СМР}} + C_{\text{ПНР}}$$

или

$$K = C_{\text{ОБ}} + 0,1 C_{\text{СМР}} + (0,25 \dots 0,3) C_{\text{ОБ}} + (0,03 \dots 0,05) C_{\text{ОБ}}, \quad (6.3)$$

где $C_{\text{ОБ}}$ – стоимость оборудования (светильников, комплекта ламп и материалов на изготовление установки), руб.;

$C_{\text{ПР}}$ – стоимость проектных работ (принимается равной 10 % стоимости строительно-монтажных работ), руб.;

$C_{\text{СМР}}$ – стоимость строительно-монтажных работ (принимается равной 25...30 % стоимости оборудования), руб.;

$C_{\text{ПНР}}$ – стоимость пуско-наладочных работ (принимается равной 3...5 % стоимости оборудования), руб.

Годовые эксплуатационные издержки C_{IE} определяются стоимостью электроэнергии, потребляемой установкой, заменяемых источников, затрат на обслуживание и эксплуатацию, амортизационных отчислений. Их можно определить по формуле

$$C_{\text{IE}} = C_{iA} + C_{iO} + C_{iЭ}, \quad (6.4)$$

где C_{iA} – годовые затраты на амортизацию и текущий ремонт, руб.;

C_{iO} – годовые затраты на обслуживание, руб.;

$C_{iЭ}$ – стоимость израсходованной за год электрической энергии с учетом потерь в ПРА и электрической сети, руб.

Отдельные составляющие эксплуатационных затрат рассчитывают по формулам

$$C_{iA} = \sum_{j=1}^l C_{jA}, \quad C_{iO} = \sum_{j=1}^l C_{jO}, \quad C_{iЭ} = \sum_{j=1}^l C_{jЭ}; \quad (6.5)$$

$$C_{jA} = 0,13K_j; \quad (6.6)$$

$$C_{j0} = N \left[n_{\text{ч}} C_{\text{ч}} + n_{\text{л}} \frac{T_{\Gamma}}{T_{\text{Н}}} (C_{\text{з}} + C_{\text{л}}) \right]; \quad (6.7)$$

$$C_{j\text{э}} = 10^{-3} \alpha P_{\text{л}} n_{\text{л}} N k_{\text{с}} (1 + \beta) T_{\Gamma} \text{Цэ}, \quad (6.8)$$

где $C_{j\text{А}}$, C_{j0} , $C_{j\text{э}}$ – соответственно годовые издержки на амортизацию и текущий ремонт, обслуживание и потребляемую электрическую энергию каждой составляющей установки, оснащенной светотехническими приборами одного типа, руб.;

l – количество составляющих осветительной установки, шт.;

0,13 – коэффициент, учитывающий отчисления на амортизацию и текущий ремонт установки;

K_j – капитальные затраты на изготовление j -й составляющей осветительной установки;

N – общее число световых приборов одного типа в установке, шт.;

$n_{\text{ч}}$ – число чисток световых приборов в год, шт.;

$C_{\text{ч}}$ – затраты на одну чистку светового прибора, руб.;

$n_{\text{л}}$ – число ламп в световом приборе, шт.;

T_{Γ} – продолжительность работы установки в год, ч;

$T_{\text{Н}}$ – номинальный срок службы лампы, ч;

$C_{\text{з}}$ – стоимость замены одной лампы (ориентировочно может быть определена как $C_{\text{ч}} \cdot 0,7$, руб.;

$C_{\text{л}}$ – стоимость одной лампы, руб.;

α – коэффициент, учитывающий потери в ПРА газоразрядных ламп;

$P_{\text{л}}$ – мощность одной лампы, Вт;

$k_{\text{с}}$ – коэффициент спроса осветительной нагрузки;

β – коэффициент, учитывающий потери электрической энергии в сетях (принимают равным 0,03 в электрических сетях с лампами накаливания, 0,037 – с люминесцентными лампами, 0,12 – с лампами ДРЛ, ДРИ и ДНаТ без компенсации реактивной мощности 0,078 с компенсацией реактивной мощности на групповых линиях;

Цэ – стоимость электрической энергии, руб. $\cdot (\text{кВт} \cdot \text{ч})^{-1}$.

Одним из параметров, учитываемых при экономическом обосновании применения того или иного варианта установки для конкретных

условий, является расчетное значение годового числа часов ее работы T_T и, как следствие, потребляемой ею электрической энергии. При этом, как правило, расчетное число часов работы приходится определять при отсутствии фактических данных о ее режимах, которые зависят от многих трудно учитываемых факторов, например, степени влияния естественного освещения на требуемый уровень освещенности рабочей поверхности, увеличение времени работы в пасмурные дни и др.

Годовое число часов работы светотехнической установки может быть вычислено по приведенным в [13, 33] формулам, при согласовании их с графиком работы технологического оборудования в рассматриваемом помещении, или определено по табл. 6.7 и 6.8 [13, 40], в которых приведены часы использования максимума нагрузки для установок, эксплуатируемых на географической широте 56° , что вполне приемлемо для расчета потребляемой электрической энергии установками, расположенными на территории Республики Беларусь (месторасположения населенных пунктов республики – широта $52...56^\circ$).

Таблица 6.7

Годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки для внутреннего освещения

Количество рабочих дней в неделю	Рабочее освещение и освещение безопасности				Эвакуационное освещение
	при числе смен			при непрерывной работе	
	1	2	3		
При наличии естественного освещения					
5	750	2250	4150	–	4800
6	600	2100	4000	–	4800
7	–	–	–	4800	4800
При отсутствии естественного освещения					
5	2150	4300	6500	–	8760
6	2150	4300	6500	–	8760
7	–	–	–	7700	8760

Таблица 6.8

Годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки для наружного освещения

Вид освещения	Режим включения					
	ежедневно			в рабочие дни		
	на всю ночь	до 1 часа ночи	до 24 часов	на всю ночь	до 1 часа ночи	до 24 часов
Рабочее освещение производственных территорий	3600	2450	2100	3000	2060	1750
Охранное освещение	3500	—	—	—	—	—

Годовое потребление электрической энергии светотехническими установками определяют по формуле

$$W_{\text{год}} = P_p T_{\text{МО}}, \quad (6.9)$$

где P_p – установленная (расчетная) мощность установки, кВт;

$T_{\text{МО}}$ – годовое число использования максимума электрической нагрузки.

При сравнении равноценных по светотехническому эффекту вариантов предпочтение по результатам экономического анализа отдается тому, в котором больше интегральный эффект \mathcal{E} за расчетный период и коэффициент роста капитала $k_{\text{РК}}$ и меньше срок возврата капитала $T_{\text{В}}$. При проведении полного экономического анализа не следует делать преждевременные выводы о более или менее экономичных вариантах светотехнических установок вообще, а следует говорить только о предпочтительных для данных конкретных условий.

Если при использовании того или иного варианта технологический эффект (дополнительный прирост производительности труда, объема или качества выпускаемой продукции и т. д.), то он учитывается при определении прибыли от реализации продукции. К сожалению, в настоящее время достоверные данные по получаемому технологическому эффекту от внедрения светотехнических установок отсутствуют. Однако ряд экспериментальных исследований

подтверждает наличие подобных зависимостей, например, в результате производственных экспериментов доказано, что при повышении освещенности в коровниках с 10 до 75 лк молочная продуктивность животных возрастает на 7 %, с 75 до 150 лк – дополнительно на 1 % и с 150 до 300 лк дополнительно на 0,8 % [41].

Наблюдаемый в последнее время интенсивный рост цен на энергоносители заставляет при экономическом обосновании обращать повышенное внимание на проблему экономии электрической энергии, учитывая, что при эксплуатации светотехнических установок ее стоимость преобладает в общей сумме затрат, включая расходы и на их устройство. Поэтому при анализе возможных решений на начальном этапе создания установки или ее модернизации можно ограничиться только сопоставлением установленной мощности (относительной разницы установленных мощностей) и ожидаемых затрат на приобретение светильников, ламп, ПРА. Поскольку установленная мощность светотехнической установки, как правило, пропорциональна произведению коэффициента использования светового потока ($\eta_{\text{ОУ}}$), КПД светильника ($\eta_{\text{СВ}}$), нормируемой освещенности для принятого типа источника (E), принимаемого при расчете коэффициента запаса (K_3), световой отдаче источника света ($\eta_{\text{ИС}}$) и коэффициента, учитывающего потери электрической энергии в применяемых для принятого источника ПРА, ($K_{\text{ПРА}}$), то относительная разность приведенных установленных мощностей (ΔP , отн. ед.) для рассматриваемых вариантов установок приближенно может быть определена как

$$\Delta P = 1 - \frac{\eta_{\text{ОУ}_2} \eta_{\text{СВ}_2} E_2 K_{3_2} \eta_{\text{ИС}_1} K_{\text{ПРА}_1}}{\eta_{\text{ОУ}_1} \eta_{\text{СВ}_1} E_1 K_{3_1} \eta_{\text{ИС}_2} K_{\text{ПРА}_2}}. \quad (6.10)$$

Положительное значение ΔP соответствует экономии электрической энергии в варианте 1 по отношению к принятому при сравнении за базовый (варианту 2), а отрицательное – ее перерасходу.

Относительная разность приведенных установленных мощностей ΔP позволяет определить годовой потенциал экономии или перерасхода электрической энергии ΔW (кВт · ч) при применении того или иного варианта изготовления светотехнической установки:

$$\Delta W = \Delta P W_{\text{год}_2}, \quad (6.11)$$

где $W_{\text{год}_2}$ – годовое потребление электрической энергии базового варианта осветительной установки (6.9), кВт · ч.

Выражение (6.11) может быть использовано во многих вариантах сравнительных расчетов, например, обосновании замены светильников на светильники с большим КПД ($\eta_{\text{СВ}}$) или меньшими потерями электрической энергии в ПРА ($K_{\text{ПРА}}$), повышения КПД существующих светильников вследствие их чистки или эффективности использования электроэнергии при автоматизации управления искусственным освещением, мероприятий по устранению отклонений напряжения в электрической сети от номинального значения и т. д. Для этого необходимо другие составляющие формулы, одинаковые для рассматриваемых вариантов, принять равными единице и не включать в расчет.

Например, относительная разность приведенных установленных мощностей ΔP при замене светильников на светильники с большим КПД ($\eta_{\text{СВ}}$) определится как

$$\Delta P = 1 - \frac{\eta_{\text{СВ}_2}}{\eta_{\text{СВ}_1}}, \quad (6.12)$$

при замене источников света, например, установке в осветительные приборы ламп с большей световой отдачей ($\eta_{\text{ИС}}$):

$$\Delta P = 1 - \frac{\eta_{\text{ИС}_1}}{\eta_{\text{ИС}_2}}, \quad (6.13)$$

или при изменении освещенности рабочей поверхности, например, вследствие проведения мероприятий по уменьшению отклонений напряжения в электрической сети от номинального значения:

$$\Delta P = 1 - \frac{E_2}{E_1}, \quad (6.14)$$

где E_2 и E_1 – нормированные значения освещенности для применяемых в установке источников света, лк. При этом E_1 – значение

освещенности при отклонении напряжения в электрической сети (лк), определяемое расчетным путем по результатам измерения средних фактических значений напряжения и освещенности [42]:

$$E_1 = \frac{E_{\text{из}} U_{\text{н}}}{U_{\text{н}} - k (U_{\text{н}} - U_{\text{из}})},$$

где $E_{\text{из}}$ – среднее значение фактической освещенности, лк;

k – коэффициент, учитывающий изменения светового потока лампы при отклонении напряжения питающей сети (принимают равным 4 для ламп накаливания и 2 для газоразрядных ламп);

$U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение сети, В;

$U_{\text{из}}$ – среднее фактическое значение напряжения, В.

Относительную разность приведенных установленных мощностей при повышении КПД светильников вследствие их регулярной чистки определяют как

$$\Delta P = 1 - (g_c + b_c e^{-t/t_c}), \quad (6.15)$$

где g_c , b_c , t_c – постоянные для заданных условий эксплуатации светильников [43];

t – продолжительность эксплуатации светильников между двумя ближайшими чистками.

Расчет экономии электрической энергии при автоматизации управления установками требует учета многих факторов. Известная методика расчета, изложенная в [44], довольно сложна для использования, но может быть рекомендована для применения при необходимости точной оценки. Тем не менее ориентировочный расчет от внедрения систем автоматизации можно произвести по формуле [42]:

$$\Delta W = k_{\text{ЭА}} - 1, \quad (6.16)$$

где $k_{\text{ЭА}}$ – коэффициент эффективности, зависящий от уровня сложности системы управления и приближенно определяемый по табл. 6.9.

Таблица 6.9

Примерные значения коэффициента эффективности автоматизации управления освещением для предприятий с односменным режимом работы [43]

Уровень сложности системы автоматического управления освещением	$k_{ЭА}$
Контроль уровня освещенности и автоматическое включение и отключение системы освещения при критическом значении E	1,1...1,15
Зонное управление освещением (включение отключение освещения дискретно, в зависимости от зонного распределения естественной освещенности)	1,2...1,25
Плавное управление мощностью и световым потоком светильников в зависимости от распределения естественной освещенности	1,3...1,4

При расчете энергоэффективности светотехнических установок следует обратить внимание на то, что нормируемая освещенность E_{\min} при замене типа лампы может быть иной, например, при замене ламп накаливания на газоразрядные [9]. Поэтому при определении относительной разности приведенных мощностей ΔP или годового потенциала экономии электрической энергии ΔW подстановка значений нормируемой освещенности рабочей поверхности для принятого типа источника при замене ламп накаливания на газоразрядные лампы является не совсем корректной, так как в светотехнических установках, особенно при лампах накаливания, не всегда соблюдается прямолинейная зависимость установленной мощности от нормируемой освещенности. Однако для приближенного ($\pm 20\%$) определения экономии электрической энергии в сравниваемых вариантах этот способ вполне приемлем, особенно при одновременном учете измененных значений других параметров, таких как коэффициент запаса K_z , световая отдача источника света $\eta_{ИС}$ и коэффициент, учитывающий потери электрической энергии в ПРА, $K_{ПРА}$.

Значение годового потенциала экономии электрической энергии ΔW (кВт · ч) позволяет ориентировочно оценить ожидаемый

эффект от внедрения предлагаемого варианта установки в сопоставлении с базовым. Для чего определим:

1) стоимость электрической энергии, которую предполагается сэкономить при внедрении предлагаемого варианта установки, $C_{ЭЭ}$, руб.:

$$C_{ЭЭ} = \Delta W C_{кВт}, \quad (6.17)$$

где $C_{кВт}$ – стоимость электрической энергии, руб. \cdot (кВт \cdot ч)⁻¹;

2) капитальные затраты K на изготовление светотехнической установки⁶²;

3) срок окупаемости $T_{ОК}$ (лет) предлагаемых мероприятий по модернизации установки [39]:

$$T_{ОК} = K / C_{ЭЭ}. \quad (6.18)$$

Чем меньше срок окупаемости, тем более эффективными считаются предложенные мероприятия. Однако если срок окупаемости превышает 6...8 лет, стоит серьезно задуматься о целесообразности капиталовложений в предлагаемый проект.

Приведенная методика оценки эффективности капиталовложений в мероприятия по модернизации светотехнических установок показывает удовлетворительные результаты. Ошибки в расчетах по приведенной методике в сравнении с полным расчетом не превышают $\pm 15...20$ %.

6.4. Техника безопасности и охрана труда при эксплуатации светотехнических установок

Для защиты от возможного поражения электрическим током в случае повреждения изоляции должны быть применены меры защиты при косвенном прикосновении в виде защитного заземления или зануления. Каждая часть светотехнической установки, подлежащая защитному заземлению или занулению, должна быть

⁶² При незначительной модернизации в расчет могут быть приняты только ее заменяемые элементы, например, светильники, лампы, ПРА или иные. В этом случае при определении дополнительных капитальных затрат в расчетах можно ограничиться лишь стоимостью оборудования $C_{Об}$ (6.3).

присоединена к сети заземления или зануления с помощью отдельного проводника. Присоединение заземляющих проводников к заземлителю и заземляющим конструкциям должно быть выполнено сваркой, а к главному заземляющему зажиму, корпусам аппаратов, машин и опорам воздушных линий – болтовым соединением (для обеспечения возможности производства измерений).

В соответствии с требованиями ПУЭ [45] и правил технической эксплуатации электроустановок потребителей [16] защитное заземление металлических частей электроустановок и оборудования должно выполняться во всех случаях, если напряжение в электроустановке превышает 50 В переменного тока. В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках выполнение защитного заземления может потребоваться при более низких напряжениях, например, 24 или 12 В переменного тока при наличии требований соответствующих глав ПУЭ.

В качестве заземляющих и нулевых защитных проводников в электроустановках с глухозаземленной нейтралью должны в первую очередь использоваться нулевые рабочие проводники N системы $TN-C$, нулевые защитные проводники PE системы $TN-S$ и совмещенные нулевые защитные и рабочие проводники PEN системы $TN-C-S$. Требования ПУЭ [45] и ГОСТ 30331 [8] к сечениям нулевых защитного и рабочего, а также совмещенного нулевого защитного и рабочего проводников электрической сети светотехнической установки приведены в § 5.2.

Мерами электробезопасности кроме защитного заземления и зануления являются: пониженное напряжение питания (менее 50 В); двойная, состоящая из рабочей и дополнительной, или усиленная изоляция; защитное отключение, обеспечивающее автоматическое отключение питания электроустановки при возникновении опасности поражения электрическим током, например, при применении УЗО; выравнивание потенциалов; защитные ограждения и др.

В электроустановках с глухозаземленной нейтралью защитное зануление светотехнических установок осуществляют присоединением их к нулевому рабочему, защитному или совмещенному (нулевому защитному и рабочему) проводнику путем соединения заземляющего зажима (винта) корпуса внутри осветительного прибора с соответствующим проводником в точке коммутации ближайшей промежуточной разветвительной коробки.

Защитное зануление нескольких светотехнических приборов может быть выполнено соответствующим защитным проводником, проложенным вдоль ряда светильников. Он вводится без разрыва в каждый светильник, или делается ответвление к каждому светильнику отдельным проводом, подсоединяемым к защитному проводнику ответвительным (винтовым) зажимом. Последовательное зануление группы светильников не допускается.

Защитное зануление светильников, ПРА которых не встроено в их корпуса, и их ПРА осуществляют отдельными защитными проводниками, как и любое другое отдельное электрооборудование. Однако защитное зануление корпусов светильников с газоразрядными лампами и вынесенными ПРА допускается осуществлять при помощи перемычки между заземляющими винтами зануленного ПРА и светильника.

Металлические отражатели светильников, укрепленные на корпусах из изолирующих материалов, заземлять (занулять) не требуется. Если между кронштейном светильника и его корпусом нет жесткого соединения, заземление (зануление) следует выполнять специальным гибким проводником.

Корпуса светильников местного освещения напряжением переменного тока выше 50 В могут заземляться путем установки их на заземленной (зануленной) металлоконструкции (кронштейне) при обеспечении надежного электрического контакта между ними.

В помещениях жилых и общественных зданий, где не требуется заземление осветительного электрооборудования, используют для подвески светильников металлические крюки с изоляционным покрытием.

Во взрывоопасных зонах защитное зануление электроустановок выполняется при любом напряжении сети переменного и постоянного тока.

При монтаже светильников на тросах несущие тросы, на которых закреплены кабели и провода (кроме тех, по которым проложены кабели с заземленной или зануленной металлической наружной оплеткой или броней), заземляют (зануляют) не менее чем в 2 точках по концам линии путем присоединения троса к нулевому или заземляющему проводу гибким медным проводником. При использовании ответвительных коробок гибкий проводник с нулевым проводом соединяют в крайних коробках

линии. Соединение гибкого проводника с тросом выполняют с помощью ответвительного сжима. Допускается заземлять трос присоединением (сваркой) свободных концов концевых петель, оставляемых при заготовке тросовой линии и присоединяемых к ответвлениям от магистрали заземления или зануления. Если при заготовке тросовой линии свободный конец не был оставлен, допустимо использовать гибкую перемычку из стального каната, конец которой соединяется с несущим тросом с помощью ответвительного сжима. В местах их установки окрашенная поверхность стальной катанки или проволоки предварительно зачищается, а стального каната – очищается от смазки. Прочие металлические элементы тросовых проводок (подвески несущего троса и светильников, анкерные устройства и натяжные муфты, детали крепления ответвительных коробок, закрепляемые к заземленному несущему тросу) отдельного заземления не требуют.

Корпуса отдельных аппаратов, щитков и шкафов с электрооборудованием напряжением до 1000 В заземляют с помощью болтового присоединения стальных заземляющих проводников, если они не занулены через нулевой рабочий провод питающей линии или не заземлены через подводимые стальные трубы или алюминиевые оболочки кабелей. Не требуется дополнительно заземлять щитки и шкафы, установленные на заземленных металлических основаниях и конструкциях. Не нужно дополнительно присоединять к заземляющей шине металлические корпуса аппаратов, установленные непосредственно на заземленном каркасе (корпусе) шкафа, (щита) и имеющие с ним надежный контакт, а также корпуса аппаратов с двойной изоляцией. К заземляющему болту, винту корпуса разрешается присоединять не более двух проводников (наконечников перемычек). К каждому болту, винту, зажиму на заземляющей (нулевой) шине присоединяют только один проводник. Металлические дверцы, на которых установлено электрооборудование, требующее заземления (зануления), соединяют с каркасом щита, шкафа или ящика гибкими перемычками.

После завершения монтажных работ и перед сдачей в эксплуатацию заземляющие устройства должны подвергаться проверке и испытаниям с целью определения соответствия их проекту и требованиям технических нормативных актов [8, 16, 45].

Путем осмотра проверяют сечения, целостность и прочность проводников, всех мест соединений и присоединений. Открыто проложенные неизолированные защитные проводники должны быть защищены от коррозии и окрашены в черный цвет. Производят измерение сопротивления заземляющих устройств (без отсоединения естественных заземлителей). В установках напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью производят выборочную проверку цепи «фаза–нуль» для наиболее удаленных и мощных электроприемников (во взрывоопасных зонах – для всех электроприемников), а также измерение сопротивлений повторных заземлений нулевого провода при отсоединенном нулевом проводе и проводниках основного заземляющего устройства.

Проверку целостности сети заземления и наличия надлежащего контакта в местах присоединения удобно осуществлять следующим образом. В проверяемую цепь подается напряжение через реостат и понижающий трансформатор со вторичным напряжением 12 В мощностью 300...500 ВА. Отсутствие тока, колебание стрелки амперметра или малое значение тока указывают на разрыв и плохой контакт. В месте плохого контакта обычно возникает искрение или нагрев вплоть до красного каления.

Проверку сопротивления изоляции производят при снятых плавких вставках предохранителей, вывинченных лампах и отсоединенных приборах. Групповые осветительные щитки, штепсельные розетки и выключатели во время проверки должны быть присоединены к сети. Сопротивление изоляции на участке между двумя предохранителями или за последними предохранителями, между проводом и землей, а также между двумя любыми проводами, должно быть не менее 0,5 МОм.

При сдаче-приемке заземляющих устройств в эксплуатацию предъявляется следующая техническая документация: исполнительные чертежи и схемы; акты освидетельствования скрытых работ по монтажу заземлителей и присоединений к естественным заземлителям; акты осмотра и проверки состояния открыто проложенных заземляющих проводников; протоколы измерения сопротивлений основных и повторных заземлителей, проверки цепи «фаза–нуль», а также целостности цепи между заземлителями и заземленными элементами.

В период эксплуатации визуальные осмотры видимой части заземляющего устройства должны производиться по графику,

но не реже 1 раза в 6 месяцев ответственным за электрохозяйство потребителя или работником, им уполномоченным.

На лицевой стороне щитов и сборок сети освещения должны быть знак безопасности и надписи (маркировка) с указанием наименования (щита или сборки), номера, соответствующего диспетчерскому наименованию. С внутренней стороны (например, на дверцах) должны быть однолинейная схема, надписи с указанием значения тока плавкой вставки на предохранителях или номинального тока автоматических выключателей и наименование электроприемников, соответственно через них получающих питание. Наименование электроприемников (в частности, светильников) должно быть изложено так, чтобы работники, включающие или отключающие единично расположенные или групповые светильники, смогли бы безошибочно производить эти действия.

Каждый работник, осуществляющий эксплуатацию и обслуживание светотехнических установок обязан знать и выполнять требования по охране труда, относящиеся к обслуживаемому оборудованию и организации труда на рабочем месте. Персонал должен быть обеспечен спецодеждой, спецобувью и другими средствами индивидуальной защиты в соответствии с нормами в зависимости от характера выполняемых работ и обязан ими пользоваться во время производства работ. Средства защиты, инструмент и приспособления, применяемые при обслуживании и ремонте электроустановок, должны подвергаться осмотру и испытаниям в соответствии с правилами и удовлетворять требованиям соответствующих государственных стандартов и других технических нормативных актов. Электротехнический персонал потребителя даже при наличии аварийного (дежурного) освещения должен быть снабжен переносными электрическими фонарями с автономным питанием.

При эксплуатации светотехнических установок должны приниматься меры для предупреждения или ограничения вредного воздействия на окружающую среду выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сбросов в почву и водные источники, снижения звукового давления и иных вредных физических воздействий. И здесь основное внимание службы эксплуатации должно быть уделено вопросам экологии окружающей среды и предотвращения возможного ртутного заражения атмосферы, почвы и водных объектов.

Во всех газоразрядных источниках света содержится в небольших количествах один из наиболее токсичных химических элементов – ртуть, например, в лампах типа ДРЛ – от 25 до 165 мг, а в люминесцентных лампах низкого давления – от 60 до 120 мг. Ртуть не только вызывает острые отравления, но и при относительно малых дозах накапливается в организме и может приводить к серьезным нарушениям психики и токсическим нарушениям функций жизненно важных органов человека. Опасность ртути заключается в том, что она обладает высокой летучестью и может испаряться даже сквозь слой воды.

Естественно, что разбитые газоразрядные лампы являются источником ртутных загрязнений. Известно, что при полном испарении 100 г ртути, высвобождающейся от разбитых примерно 1000 люминесцентных ламп, происходит ртутное заражение воздуха в объеме 10 млн. м³ до предельно допустимой нормы (0,01 мг/м³). Поэтому утилизация отработавших и отбракованных газоразрядных ламп путем вывоза их на свалку или захоронения на специальных полигонах неприемлема, так как не исключает возможности ртутного заражения почвы и подземных вод.

На сегодня наиболее прогрессивным способом утилизации газоразрядных ламп является их централизованный сбор с последующей демеркуризацией (извлечение ртути) на специальных установках. Следует отметить, что применяемые технологии термической демеркуризации в специальных установках требуют значительных энергозатрат и являются дорогостоящим мероприятием. Однако с позиций охраны окружающей среды такой способ утилизации необходим даже при экономической невыгодности. Поэтому вышедшие из строя и отбракованные газоразрядные лампы должны храниться в специальном помещении и периодически вывозиться для уничтожения и дезактивации в установленные для этого места и передаваться специализированным организациям для демеркуризации.

На производстве нередки случаи, когда газоразрядные лампы из-за небрежного хранения и обращения получают механические повреждения на рабочем месте, что может привести к его ртутному загрязнению. Механическое повреждение газоразрядной лампы, сопровождающееся вытеканием из горелки лампы ртути, требует немедленной демеркуризации места происшествия. Демеркуризация в пределах рабочей зоны включает в себя механическую очистку загрязненных мест от видимых скоплений (шариков) ртути,

химическую обработку загрязненных поверхностей и влажную уборку с целью удаления продуктов реакции ртути с химическими веществами. Механическую очистку производят стеклянными лопушками, оснащенными резиновыми грушами. Мелкие капельки ртути с гладких поверхностей удаляют влажной фильтровальной бумагой или салфетками. При попадании ртути в щели ее извлекают при помощи полосок или кисточек из белой жести, медной или латунной проволоки или других хорошо соединяющихся с ней металлов. Химическая обработка основана на окислении ртути. Одним из наиболее простых и надежных является метод, использующий взаимодействие ртути с 20 %-м водным раствором хлорида железа. Поверхность, подлежащую обработке, обильно смачивают указанным раствором и несколько раз протирают щеткой, а затем оставляют до полного высыхания, после чего поверхность тщательно промывают мыльным раствором, а затем чистой водой.

Особо отметим дополнительные требования к охране труда персонала, работающего в облучательных установках.

При работе с действующими установками УФ-излучения, особенно с лампами типов ДРТ и ДБ, персоналу, находящемуся в зоне их работы, необходимо надевать очки из дымчатого или толстого бесцветного стекла и избегать облучения незащищенных частей тела. Помещения, в которых работают источники УФ-излучения, следует вентилировать для удаления озона и окислов азота.

Особое внимание, с точки зрения обеспечения безопасности персонала, необходимо обратить на работу облучательных установок в теплицах. Все теплицы по степени опасности поражения электрическим током относятся к категории особо опасных. Во время ухода за растениями персонал может касаться конструкций облучательных установок, расположенных в непосредственной близости, что при неудовлетворительном состоянии изоляции может привести к поражению электрическим током. Существует и другая опасность – при поливе растений случайные брызги воды могут привести к разрушению раскаленных до высокой температуры колб ламп ДРИ, ДНаТ и им подобных.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. С какой целью организуется эксплуатация осветительных установок и какие проблемы она решает?

2. Для решения каких вопросов создается энергетическая служба предприятия (хозяйства)? Ее состав, структура и основные задачи включенных в нее подразделений.

3. Как определяют численность персонала энергетической службы предприятия (хозяйства), задействованного в обслуживании осветительных установок?

4. Приведите сроки проведения осмотров состояния, ППР и периодического ТО светотехнических установок. Какие работы производятся при их проведении?

5. Какие способы замены вышедших из строя ламп Вам известны и в чем их отличие? Их основные преимущества и недостатки. Как определяют сроки замены источников света?

6. Какие средства доступа к светотехническим приборам и источникам для их осмотров состояния, ППР и периодического ТО Вам известны? Поясните требования по охране труда персонала, которые необходимо соблюдать при работе с приведенными Вами средствами доступа.

7. Приведите характерные неисправности светотехнического оборудования и способы их устранения.

8. За счет проведения каких мероприятий повышается эффективность использования и достигается рациональная экономия электрической энергии в установках искусственного освещения?

9. Как определить расход электрической энергии, потребляемой в светотехнической установке?

10. Какие параметры определяют капитальные затраты на изготовление светотехнической установки? Приведите основные формулы для расчета их составляющих.

11. По каким параметрам определяют затраты на эксплуатацию осветительных установок? Приведите основные формулы для расчета их составляющих.

12. Каким образом можно провести приближенный анализ экономической эффективности капиталовложений в модернизацию светотехнической установки? Приведите формулы для расчета его составляющих.

13. Поясните основные меры безопасности, производственной санитарии и экологии, которые необходимо соблюдать при эксплуатации светотехнических установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.: ил.
2. Кнорринг, Г. М. Справочная книга по проектированию электрического освещения / Г. М. Кнорринг, Ю. Б. Оболенцев, В. М. Крючков ; под ред. Г. М. Кнорринга. – Ленинград : Энергия, 1976. – 384 с.
3. Жилинский, Ю. М. Электрическое освещение и облучение : учебное пособие / Ю. М. Жилинский, В. Д. Кумин. – М. : Колос, 1982. – 272 с.:
4. Козинский, В. А. Электрическое освещение и облучение : учебное пособие / В. А. Козинский. – М. : Агропромиздат, 1991. – 239 с.
5. Степанцов, В. П. Светотехника : учебное пособие / В. П. Степанцов, Р. И. Кустова. – Минск : БГАТУ, 2012. – 568 с.: ил.
6. ГОСТ 29322–92. Стандартные напряжения. – Введ. 01.01.1993. – М. : Издательство стандартов, 2005. – 8 с.
7. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М. : Омега-Л, 2007. – 268 с.
8. ГОСТ 30331.3–95. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражений электрическим током. – Введ. 01.01.1995. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1995. – 17 с.
9. ТКП 45-2.04-153–2009. Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования. – Минск : Министерство архитектуры и строительства, 2009. – 59 с.
10. Отраслевые нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений. – М. : Колос, 1979. – 24 с.
11. Амерханов, Р. А. Проектирование систем энергообеспечения : учебник / Р. А. Амерханов, А. В. Богдан, С. В. Вербицкая и др.; под ред. Р. А. Амерханова – М. : Энергоатомиздат, 2010. – 548 с.
12. Кроль, Ц. Е. Качество промышленного освещения / Ц. Е. Кроль, Е. И. Мясоедова, С. Г. Терешкович. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 224 с.
13. Козловская, В. Б. Электрическое освещение : справочник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – 2-е изд. – Минск : Техноперспектива, 2008. – 271 с.

14. Лесман, Е. А. Освещение административных зданий и помещений / Е. А. Лесман. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1985. – 88 с.
15. Баранов, Л. А. Светотехника и электротехнология : учеб. пособие / Л. А. Баранов, В. А. Захаров. – М. : Колос, 2008. – 344 с.
16. ТКП 181–2009 (02230). Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – Минск : Минэнерго, 2009. – 329 с.
17. ГОСТ 30331.1–95. Электроустановки зданий. Основные положения. – Введ. 01.01.1995. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1995. – 11 с.
18. Николаенок, М. М. Светотехника : учебное пособие / М. М. Николаенок, Е. М. Заяц, Р. И. Кустова; под ред. Е. М. Зайца – Минск : ИВЦ Минфина, 2015. – 231 с.
19. Рекомендации по применению ультрафиолетового излучения в животноводстве и птицеводстве. – М. : Колос, 1979. – 32 с.
20. Р 3.5.1904–04. Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях : руководство. – М. : Минздрав России, 2005. – 48 с.
21. Степанцов, В. П. Технологическое использование оптического излучения / В. П. Степанцов. – Минск : БГАТУ, 2012 – 204 с.
22. Лямцов, А. К. Электроосветительные и облучательные установки / А. К. Лямцов, Г. А. Тищенко. – М. : Колос, 1983. – 224 с.
23. Баев, В. И. Практикум по электрическому освещению и облучению: учебное пособие / В. И. Баев. – М. : Агропромиздат, 1991.
24. Степанцов, В. П. Электрооборудование и автоматизация животноводческих и птицеводческих помещений. – Ленинград : Колос, 1983. – 88 с.
25. Электрические установки инфракрасного излучения в животноводстве / Д. Н. Быстрицкий, Н. Ф. Кожевников, А. К. Лямцов, В. П. Муругов. – М. : Энергия, 1981. – 152 с.
26. Рекомендации по инфракрасному обогреву молодняка сельскохозяйственных животных и птицы. – М. : Колос, 1979. – 31 с.
27. Общесоюзные нормы технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады. ОНТП-С.Х. 10–81. М. : Колос, 1982. – 74 с.
28. ГОСТ 13109–97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Взамен ГОСТ 13109–87 ; введ. 01.01.1999. – М. : Международный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999. – 32 с.

29. ГОСТ 21.608–84. Внутреннее электрическое освещение. Рабочие чертежи – Введ. 01.01.1985. – М. : Государственный комитет СССР по делам строительства, 1985. – 16 с.

30. ГОСТ 21.614–88. Изображения условные графические электрооборудования и проводок на планах. – Введ. 01.07.1988. – М. : Стандартиформ, 2006. – 14 с.

31. ГОСТ 2.701–2008. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. – Введ. 01.07.2009. – М. : Стандартиформ, 2009. – 14 с.

32. СНиП 1.02–85. Инструкции о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 40 с.

33. Федоров, А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Федоров, В. В. Каменева. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.

34. Определение численности персонала для обслуживания осветительных установок. Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок. – Тяжпроэлектропроект, 1982. – № 8.

35. Инструкция по рациональному использованию электроэнергии и снижению затрат в промышленных осветительных установках (внутреннее освещение). – Светотехника, 1981. – № 5.

36. ТКП427–2012 (02230) Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок – Минск : Минэнерго, 2012. – 82 с.

37. Николаенок, М. М. Электрическое освещение : конспект лекций / М. М. Николаенок, Р. И. Кустова. – Минск : БГАТУ, 2006. – 144 с.

38. Светотехника : пособие для студ. вузов спец. 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства» / М. М. Николаенок [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2009. – 185 с.

39. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий. – Минск : Белэнергосбережение, 2003. – 60 с.

40. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю. Г. Барыбина [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

41. Канакин, Н. С. Технико-экономические вопросы электрификации сельского хозяйства / Н. С. Канакин, Ю. М. Коган. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 192 с.

42. Лоскутов, А. Б. Методика расчета экономии электроэнергии в действующих осветительных установках помещений при проведении энергетического аудита / А. Б. Лоскутов, А. С. Шевченко // ECOTECO. – Режим доступа : <http://www.ecoteco.ru/id174>. – Дата доступа : 5.01.2016.

43. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.

44. Кунгс, Я. А. Автоматизация управления электрическим освещением / Я. А. Кунгс. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 112 с.

45. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М. : Омега-Л, 2007. – 268 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Репозиторий БГАТУ

Величины и единицы измерения оптического излучения

Энергетическая величина	Световая величина	Витальная величина	Бактерицидная величина	Фотосинтетическая величина
Энергия излучения $Q, Дж$	—	—	—	—
Поток излучения $\Phi, Вт$	Световой поток $\Phi_C, лм$	Витальный поток $\Phi_B, вит$	Бактерицидный поток $\Phi_B, бакт$	Фитопоток $\Phi_{\Phi}, фит$
Сила излучения $I, Вт \cdot ср^{-1}$	Сила света $I_C, кд$	Сила витального излучения $I_B, вит \cdot ср^{-1}$	Сила бактерицидного излучения $I_B, бак \cdot ср^{-1}$	Сила фитоизлучения $I_{\Phi}, фит \cdot ср^{-1}$
Облученность (плотность облучения) $E, Вт \cdot м^{-2}$	Освещенность $E_C, лк$	Витальная облученность $E_B, вит \cdot м^{-2}$	Бактерицидная облученность $E_B, бак \cdot м^{-2}$	Фитооблученность $E_{\Phi}, фит \cdot м^{-2}$
Энергетическая экспозиция (доза облучения) $H_e, Дж \cdot м^{-2}$	Световая экспозиция $H_C, лк \cdot с$	Витальная экспозиция $H_B, вит \cdot с \cdot м^{-2}$	Бактерицидная экспозиция $H_B, бак \cdot с \cdot м^{-2}$	Фитоэкспозиция $H_{\Phi}, фит \cdot с \cdot м^{-2}$
Энергетическая светимость (плотность излучения) $M_{ie}, Вт \cdot м^{-2}$	Светимость $M_C, лк$	—	—	—

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Электрические и светотехнические параметры ламп накаливания

Тип источника	Мощность источника, Вт	Значение светового потока, лм*				
		Диапазон напряжений питания источников, В				
		215...225	220...230	230...240	235...245	245...255
		Расчетное напряжение питания источников, В				
		220	225	235	240	250
В	15	105	105	100	115	110
	25	220	230	225	225	215
Б	40	415	430	430	410	410
БК		460	460	450	–	–
Б	60	730	730	710	710	695
БК		790	800	790	–	–
Б	75	960	960	940	–	–
БК		1030	–	–	–	–
Б	100	1380	1380	1360	1360	1320
БК		1500	1500	1485	–	–
Б	150	2220	–	–	2060	–
Г		2090	2090	2065	2180	2040
Б	200	2950	3100	–	–	–
Г		3150	2950	2910	–	2860
Г	300	4850	4610	4800	–	4530
	500	8400	8400	8300	–	8250
	750	13 100	13 100	–	–	–
	1000	18 800	18 800	18 610	–	–

* Усредненное значение, которое может несколько отличаться у разных производителей.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Технические параметры инфракрасных зеркальных ламп-термоизлучателей

Тип лампы	Номинальное значение		Габаритный размер, мм		Тип цоколя
	напряжения, В	мощности, Вт	диаметр колбы	длина лампы	
ИКЗК220-250	220	250	130	195	E27
ИКЗС220-250-1	220	250	130	195	E27
ИК3220-250	220	250	130	215	E40
ИК3220-500	220	500	180	267	E40
ИК3220-500-1*	220	500	130	215	E40

* Лампа ИК3220-500-1 имеет уменьшенные размеры – такие же, как у инфракрасных ламп-термоизлучателей мощностью 250 Вт.

Примечание. Срок службы указанных ламп 6000 ч.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Технические параметры люминесцентных ламп общего назначения

Маркировки T12										
Мощность, Вт	Ток, А	Размеры, мм		Световой поток типов ламп, лм*						
		длина	диаметр	ЛБ	ЛТБ	ЛХБ	ЛД	ЛЕ	ЛБЕ	ЛХЕ
20	0,37	604	40	1200	1100	1020	1000	820		
30	0,365	908,8	40	2180	2020	1940	1800	1460		
40	0,43	1213,6	40	3200	3100	3000	2500	2100		1930
65	0,67	1514,2	40	4800	4650	4400	4000	3400		
80	0,87	1514,2	40	5400	5200	5040	4300			
				ЛДЦ	ЛЕЦ	ЛХЕЦ	ЛТБЦ	ЛХБЦ	ЛТБЦ	ЛБР
20	0,37	604	40	865	700					1050
30	0,365	908,8	40	1500	1400					
40	0,43	1213,6	40	2200	2190	1930	1700	2400	1700	2500
65	0,67	1514,2	40	3160	3400					4200
80	0,87	1514,2	40	3800				4100		4350
Маркировки T8										
				ЛБ	ЛДЦ	ЛЕЦ				
18	0,37	604	26	1250	850	850				
36	0,43	1213,6	26	3050	2200	2150				
58	0,67	1514,2	26	4800		3330				

* Средненное значение, которое может несколько отличаться у разных производителей.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Технические параметры люминесцентных ламп Т4 и Т5

Мощность, Вт	Световой поток, лм, при T_C , К		Длина, мм	Мощность, Вт	Световой поток, лм, при T_C , К		Длина, мм
	4200	6400			4200	6400	
Маркировка Т4				Маркировка Т4			
6	265	258	207	6	300	280	212,1
8	380	370	327	8	420	400	288,3
12	570	550	356,5	13	840	750	516,9
16	1000	960	455	14	1200	1100	549
20	1280	1260	553	21	1850	1660	849
24	1550	1500	642	24	1950	1850	549
30	1750	1750	750	28	2470	2350	1149
				35	3300	3050	1449
				39	3400	3200	849
				49	4300	4100	1449
				54	4850	4600	1149
				80	6800	6450	1449

Примечание. Номинальный срок службы ламп Т5 составляет 20 тыс. ч, Т4 – 8 тыс. ч.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Технические параметры энергосберегающих компактных люминесцентных ламп

Мощность, Вт	Цветовая температура, К	Световой поток, лм,	Тип цоколя	Мощность, Вт	Цветовая температура, К	Световой поток, лм,	Тип цоколя
7	2700, 4100	290, 310	E14, E27	18	2700, 4100	1010, 1020	E27
	3500	286	E14		2700, 4000	1170	E27
9	2700	410, 430	E14, E27	20	2700, 4100	1200	E27
	2700, 4000	450, 500	E14, E27		2800	1080, 1200	E27
	4200	500	E27		4200	1040, 1080	E27
11	2800	585, 620	E14, E27	23	2800	1300	E27
	2700, 4100	680	E14, E27		4200	1260	E27
	3500	532	E14, E27		2700, 4000	1370	E27
	4200	585	E27		24	2700, 4100	1450
13	2800	685	E14	25	2700, 4000	1520	E27
	2700, 4000	665	E14, E27	26	2800, 4200	1612, 1456	E27
15	2700	800, 810	E14, E27	28	2800, 4200	1568, 1736	E27
	2800	870, 990	E14, E27	30	2700, 4000	1900	E27
	2700, 4000	800, 880	E14, E27	35	2700, 4000	2285	E27
	2700, 4100	800	E27	85	2700, 4000	6000	E27
	4200	990	E27	105	4000	6600	E27, E40

Примечание. Приведенные в ячейках значения через запятую означают наличие различных модификаций изготовления, например, если световой поток показан как (2700, 4000), то выпускают лампы как на цветовую температуру 2700, так и на 4000.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Технические параметры газоразрядных ламп высокого давления

Таблица П7.1

Технические параметры ламп ДРЛ

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Номинальный ток, А	Световой поток, лм	Тип цоколя
ДРЛ 50	50	95	0,61	1900	E27
ДРЛ 80	80	115	0,8	3400	E27
ДРЛ 125	125	125	1,15	6200	E27
ДРЛ 250	250	130	2,15	13 500	E40
ДРЛ 400	400	135	3,25	23 500	E40
ДРЛ 700	700	140	5,4	41 000	E40
ДРЛ 1000	1000	145	7,5	59 000	E40

Таблица П7.2

Технические параметры ламп ДРИ общего назначения

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Номинальный ток, А	Световой поток, лм	Тип цоколя
ДРИ 125	125	220	1,15	8300	E27
ДРИ 175	175	220	1,55	12 000	E27
ДРИ 250	250	220	2,15	19 500	E40
ДРИ 400	400	220	3,4	36 000	E40
ДРИ 700	700	220	6,5	60 000	E40
ДРИ 1000	1000	220	8,55	90 000	E40
ДРИЗ 250	250	220	2,2	13 700	E40
ДРИЗ 400	400	220	3,3	24 000	E40
ДРИЗ 700	700	220	6,0	45 000	E40

Таблица П7.3

Технические параметры ламп ДНаТ

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Номинальный ток, А	Световой поток, лм	Тип цоколя
ДНаТ 70	70	220	0,7	6000	E27
ДНаТ 100	100	220	1,1	10 500	E27
ДНаТ 150	150	220	1,8	14 000	E40
ДНаТ 400	400	220	4,6	48 000	E40
ДНаТ 700	700	380	4,7	84 000	E40
ДНаТ 1000	1000	380	5,3	125 000	E40

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Технические параметры специальных газоразрядных ламп

Таблица П8.1

Технические параметры витальных и бактерицидных ламп

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Ток, А	Световой поток, лм	Витальный поток, мвит	Бактерицидный поток, мбк	Срок службы, ч
ЛЭ15	15	127	0,33	40	300	55	5000
ЛЭО15	15	127	0,33	650	110	–	5000
ЛЭ30	30	220	0,365	110	750	125	5000
ЛЭО30	30	220	0,365	1350	270	–	5000
ЛЭО40	40	220	0,43	1850	370	–	5000
ЛЭР40	40	220	0,43	120	1600	–	3000
ДБ15	15	127	0,33	60	–	2500	5000
ДБ30-1	30	220	0,36	140	35	6600	5000
ДБ36	36	220	0,38	–	–	10 500	7500
ДБ60	60	220	0,7	180	41	8000	5000
ДРТ230	230	127	3,8	–	–	6700	2000
ДРТ400	400	220	3,25	8000	4750	10 000	2000
ДРТ1000	1000	220	7,5	3300	16 500	39 500	2700

Окончание приложения 8

Таблица П8.2

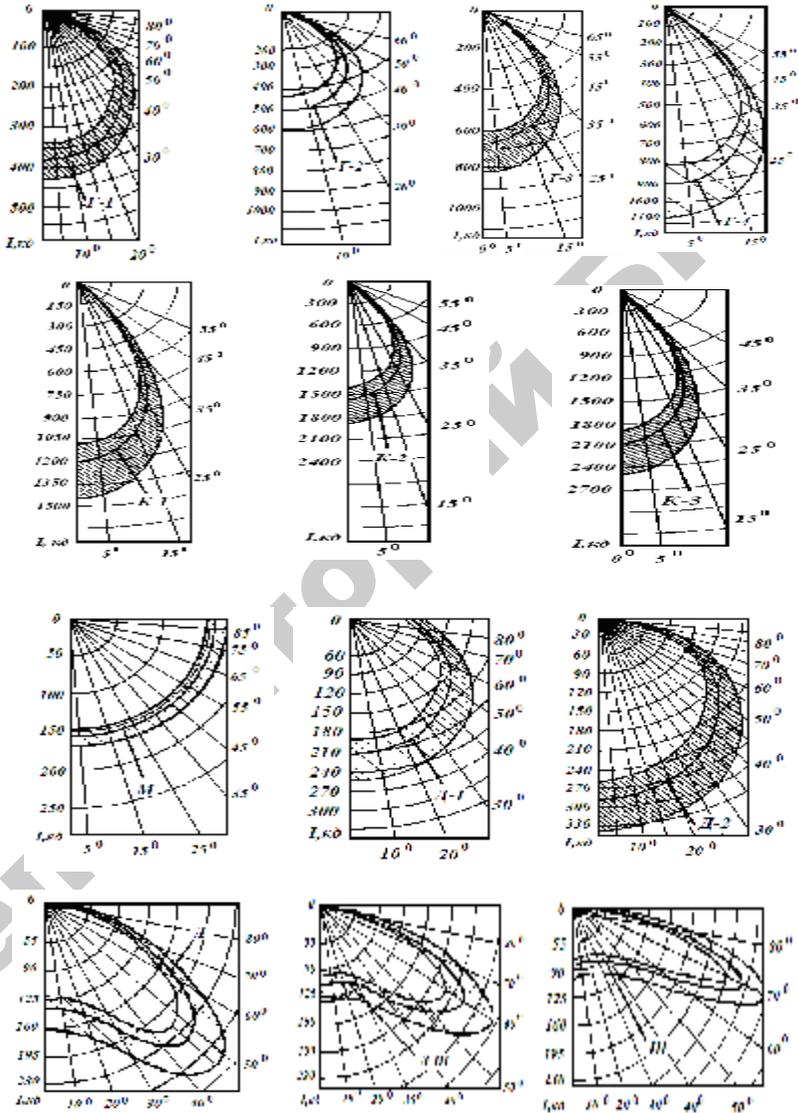
Технические параметры газоразрядных фотосинтетических ламп

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Световой поток, лм	Фитопоток, фит	Срок службы, тыс. ч	КПД ФАР, %
ЛФ40-1	40	220	1680	4,22	12	15
ЛФ40-2	40	220	1600	4,35	5	15
ЛФР150*	150	220	–	–	6	15
ДРЛФ400	400	220	16 000	17,6	6...7	10
ДРФ1000	1000	220	–	90...100	1,5...2	20
ДРЛ2000	2000	380	120 000	–	6	15
ДРИ1000-1	1000	220	70 000	–	3	–
ДРИ2000-2М	2000	380	155 000	204	1	30
ДРИ2000-6	2000	380	190 000	294	1,5	29
ДРОТ2000	2000	380	120 000	204	3	20,6
ДМ33000	3000	380/220	240 000	497	1,5	28,5
ДМ46000	6000	380/220	540 000	–	–	25
ДНаТ400	400	220	46 000	62	1,5	27

* Сила света 11 500 кд

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Детализированные кривые силы света
для классификации светильников по форме КСС



ПРИЛОЖЕНИЕ 10

Номенклатура и технические параметры светильников
с лампами накаливания, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ

Тип светильника	Класс свето-распределения	Тип КСС	КПД		Степень защиты	Способ монтажа*
			общий	в нижнюю полу-сферу		
1	2	3	4	5	6	7
Светильники с лампами накаливания						
НСП02-100, НСП02-200	Р	М	70	42	IP54	1, 2
НПП03-100	П	Д-1	75	75	IP64	4
НСП03-60	Р	М	80	45	IP54	1, 2, 3
НСП03-100	П	Д-1	50	50		4
НСП04-200	Р	М	65	40	IP22	1, 2
НПП05-100	П	М	75	75	IP55	4
НСП09-100, НСП09-200	Р	М	75	45	IP50	1, 2
НСП11-100, НСП11-200	П	Д-2	67	67	IP63	1, 2, 3
	Р	М	77	47	IP60	
НСП11-500	Н	Д-1	67	57	IP52	1, 3
	Р	М	77	47	IP60	
НСП17-200, НСП17-500	П	Л	80	80	IP20	1, 2, 3
НСП17-500		Г-4				
НСП20-500	П	Д-1	67	67	IP54 5'0	1, 2, 3
		Г-1	75	75	IP62	
Д-1		77	77	IP23		
Г-1						
НСП21-100	П	Д	80	80	5'3	1, 2, 3
НСП21-200		Д	82	82		
		Г	65	65		

1	2	3	4	5	6	7
НСП22-500	Н	К	65	65	IP60	1, 2, 3
			70	70	5'0	
	П	Г-1	67	67	IP63	
			Д-2	75	75	
НСП18Ex-75, НСП18Ex-100, НСП18Ex-150, НСП18Ex-200	П	Д		55	55	1ExdeII
НСП21Ex-150, НСП21Ex-200, НСП21Ex-300	П	Д	50	50	1ExdeII	1, 3
НСП23-200	П	Д	60	60	2ExdeII	1, 3
	Н	Д-1	75	55		
Светильники с лампами ДРЛ						
РПП-01-50	П	Д	65	65	IP54	4
РПП-01-80, РПП-01-125			60	60		
РСП02-80, РСП02-125			Р	М		
РСП04-250, РСП04-400	П	Д	60	60	IP54	1, 2
			65	65	IP23	
		Г	60	60	IP54	
			70	70	IP23	
РСП05-250, РСП05-400, РСП05-700	П	Д	70	70	IP20	1, 2
		Г-1				
		Г-3	80	80	IP23	
		К-1				
РСП07-250	П	Г	60	60	IP54	1, 2
		Д				
		Г	70	70	IP23	
		Д				

1	2	3	4	5	6	7
PCП08-125, PCП08-250, PCП08-400	П	Л	80	80	5'0	1, 2, 3
					IP20	
PCП08-250		Г-1	70	70	IP60	
PCП08-125, PCП08-250					IP20	
PCП08-250	Д	75	75	5'3	IP20	
PCП08-125, PCП08-400				П		Г-3
PCП08-400	К-1	80	80		5'3	
					К-1	80
	К-1	80	80			
PCП11-400				Р	М	72
PCП11Ex-125	Р	М	70	40	1ExdeII	1
РПП14 2Ex-125	П	Л	55	55	2ExdeII	1
PCП16-400	П	Д	62	62	IP54	1
		Г-1	60	60		
PCП17-250, PCП17-400	П	Г-3	80	80	IP20	1, 2
PCП18-250, PCП18-400, PCП18-700, PCП18-1000	П	Д	70	70	IP20	1, 3
		Г-2				
		К-2	75	75		
		Г-4				
PCП18Ex-80, PCП18Ex-125	Р	М	70	40	1ExdeII	1
	П	Д	55	55		
50			50			
PCП20-250	П	Д	62	62		
		Г-1				
PCП20-250, PCП20-400		Д	72	72	IP23	
						Г-1
PCП20-700		Д	65	65	IP23	1, 2, 3
		Г-1	70	70		

1	2	3	4	5	6	7
РСР21-80, РСР21-125	П	Д	60	60	IP53	1, 2, 3
			65	65	5'3	
					5'0	
РСР21Ех-125	Р	М	50	35	1ExdeII	1
	П	Д		50		
РСР25-80	П	Д	60	60	IP54	1
РСР26-125	П	Д	70	70	5'1	1, 2
Светильники с лампами ДРИ						
ГПП01-50, ГПП01-80	П	Д	65	65	IP54	4
ГСП04-250, ГСП-400	П	К	60	60	IP54	1, 2
		Г	65	65	IP23	
ГСП05-175	Р	М	70	40	IP54	1, 2
ГСП05-400, ГСП05-700	П	Г-3	75	75	IP20	1, 3
ГСП07-175	П	К	70	70	IP23	1, 2, 3
		Г	60	60	IP54	
ГСП09-700, ГСП09-1000	П	Г	70	70	IP23	1, 2, 3
			60	60	IP54	
ГСП11Ех-250	Р	М	70	40	1ExdeII	1
ГСП15-400	П	Г-2	75	75	IP54	1
			70	70	IP20	
			60	60	5'0	
ГСП17-700	П	Г(Г-3)	75	75	5'0	1, 2
		К(К-1)	70	70	IP20	
ГСП17-2000	П	Г	70	70	IP20	1, 2
ГСП18-250, ГСП18-400, ГСП18-700	П	Д-2	70	70	IP20	1, 3
		К-2				
		Г-4	75	75		
		Г-2	70	70		
ГСП19-700, ГСП19-1000	П	Г-1	70	70	IP23	1, 2, 3
					IP54	

1	2	3	4	5	6	7
ГСП20-700, ГСП20-2000	П	К-2	67	67	IP60	1, 2, 3
			72	72	5'0	
ГСП23-400	П	Д-1	62	62	IP20	1, 2, 3
ГСП24-400	П	Г-1	62	62	IP20	1
ГСП25-125, ГСП25-175, ГСП25-250	П	Г-1	62	62	IP20	1
Светильники с лампами ДНаТ						
ЖСП01-400	П	Г-4	70	70	IP54	1, 2
		К-2			IP53	
ЖПП02-250, ЖСП02-400	П	Г	60	60	IP23	1, 2
		Л			IP54	
ЖСП02-250		Д	72	72	5'0	
ЖСП04-250	П	Г	60	60	IP23	1, 2, 3
		Д	65	65	IP54	
ЖСП04-400		К	60	60	IP23	
ЖСП05-150	Р	М	70	45	IP23	1, 2, 3
ЖСП07-150	П	К	70	70	IP23	1, 2, 3
		Г	60	60	IP54	
ЖСП09-1000	П	Г	70	70	IP23	1, 2, 3
			60	60	IP54	
ЖСП11Ех-100, ЖСП11Ех-150	Р	М	70	40	1ExdeII	1
ЖСП12-250	П	Д	70	70	IP54	1, 2, 3
ЖВП14 2Ех-100	П	Л	55	55	2ExdeII	1
ЖПП14 2Ех-100	П	Л	55	55	2ExdeII	1
ЖСП17-250	П	Г	65	65	IP54	1, 2
ЖСП17-400		Г-4	75	75	IP20	
	К-2					

* Обозначение способа монтажа: 1 – на трубу $\frac{3}{4}$ "; 2 – на крук; 3 – на монтажный профиль; 4 – на потолок.

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

Номенклатура и технические параметры светильников с люминесцентными лампами

Тип светильника	Класс светораспределения	Тип КСС	КПД		Габариты, мм	Степень защиты	Способ монтажа*
			общий	в нижнюю полусферу			
1	2	3	4	5	6	7	8
ЛСП01-2×36	Р	М	75	–	1400×260×210	IP64	1, 5, 6, 7
ЛСП01-2×36	П	Д	60	–			
ЛСП01-2×58	Р	М	75	–	1700×260×210	IP64	
ЛСП01-2×58	П	Д	60	–			
ЛПП04-2×36	П	Д	60	–	1290×190×140	IP54	6
ЛПП04-2×36	П	Д	60	–	1290×190×140	IP54	6
ЛПП04-2×40							
ЛСП04-2×40	Р	Г-2	65	25	–	2'0	2, 5
ЛСП04-2×65			70	30			
ЛПО06-20	П	Д	70	–	650×60×115	IP20	6
ЛПО06-2×20					650×180×90		
ЛПО06-2×40					1250×180×90		
ЛПО06-2×65					1550×180×80		
ЛПО06-4×20					650×350×90		
ЛСП06-2×40, ЛСП06-2×80	П	Д-2	70	–	–	IP20	1, 3, 6, 7
ЛСП06-2×40, ЛСП06-2×80	Н						
ЛСП06-2×40, ЛСП06-2×80	П	Г-1	65	–	–	IP20	1, 3, 6, 7
ЛСП06-2×40, ЛСП06-2×80	Н	Д-2					
ЛПП07-18	П	Д	60	–	660×100×100	IP65	6
ЛПП07-36					1270×100×100		
ЛПП07-58					1570×100×100		

1	2	3	4	5	6	7	8	
ПП07-2×18					660×160×100			
ЛПП07-2×36					1270×160×100			
ЛПП07-2×58					1570×160×100			
ЛПО09-40	П	Д-1	65	65	–	IP20	6	
ЛПО09-40	Р		80	80				
ЛСП09-40	П	Д-1	65	65	–	IP20	1, 3, 6, 7	
ЛСП10-36, ЛСП10-2×36	П	Д	84	84	1248×124×170	IP65	1, 3, 6, 7	
ЛСП10-58, ЛСП10-2×58					1548×124×170			
ЛПО11-2×18	П	Г	70	–	650×340×94	IP20	6	
ЛПО11-4×18					650×650×94			
ЛПО11-36					1255×170×94			
ЛПО11-2×36					1255×340×94			
ЛПП12-18	П	Д	75	–	790×78×125	IP65	6	
ЛПП12-2×18					790×170×125			
ЛПП12-36					1396×78×125			
ЛПП12-2×36	П	Д	75	–	1396×170×125	IP65	6	
ЛПП12-58					1660×78×125			
ЛПП12-2×58					1660×170×125			
ЛПП12-2×36			84	64	64	1270×124×180		IP66
ЛПП12-2×40						686×186×127		IP54
ЛПП12-2×20								
ЛСП12-2×40	П	Д	84	84	1270×124×132	IP66	1, 3, 6, 7	
ЛСП12-2×20			64	64	686×186×160	IP54		
ЛСП12-2×40					1286×186×160	IP65		
ЛСП12-2×40								
ЛПО12-2×18	П	Д	75	–	645×165×91	IP20	6	
ЛПО12-2×36					1250×165×91			
ЛПО12-2×58					1555×165×91			
ЛПО13-2×40, ЛПО13-2×65	П	Г-1	55	55	–	IP20	6	

1	2	3	4	5	6	7	8	
ЛСП13-2×40	П	Л	75	75	1246×480×154	IP20	5	
ЛСП13-2×65					1546×480×154			
ЛСП13-2×40		Г-2	75	75	1246×480×154			
ЛСП13-2×65					1546×480×154			
ЛСП14-2×40	Н	Д-1	65	–	–	IP54	2, 7	
ЛСП15-2×40**	Н	Д	85	–	–	5'4	2, 5, 7	
ЛСП15-2×65**	Р	М						
ЛСП15-2×80	Н	Д						
ЛПО16-20, ЛПО16-40	Н	Д-1	60	45	–	2'0	6	
ЛСП16-2×40	Н	Д-1	60	–	–	IP54	2, 5	
ЛСП18×40**	Н	–	88	75	1330×65×165	5'4	1, 3, 5	
ЛСП18×65**			88		1610×65×165			
ЛСП18-2×40**			85		1330×65×165			
ЛСП18-2×65**			85		1610×65×165			
ЛСП18-18		М	75		–	750×75×180		IP65
ЛСП18-36					1330×75×180			
ЛСП18-58					1630×75×180			
ЛСП18-18					720×152×204			
ЛСП18-36	П	Д	70	–	1330×152×204	5'4		
ЛСП18-58				1630×152×204				
ЛСП18-2×18				720×270×204				
ЛСП18-2×36				1330×270×204				
ЛСП18-2×58				1630×270×204				
ЛСП18-2×58				1630×270×204				
ЛСО20-36	–	М	70	–	1265×90×120	IP20	2, 5, 7	
ЛСО20-2×36					2530×90×120			
ЛСО20-58					1565×90×120			
ЛСО20-2×58					3100×90×120			
ЛПП20-18	П	Д	75	–	680×103×114	IP54	6	
ЛПП20-2×18	П	Д	75	–	680×175×114	IP54	6	
ЛПП20-36					1235×103×114			
ЛПП20-2×36					1235×175×114			
ЛПП20-58					1585×103×114			
ЛПП20-2×58					1585×175×114			

1	2	3	4	5	6	7	8
ЛСП21-2×40**	Н	Д	80	–	–	5'4	2, 5, 7
ЛПО22-2×20, ПО22-4×20, ЛПО22-6×20	Н	Д-2	55	48	–	2'0	6
ЛСП22-65	Н	Д	85	–	1625×148×170	5'0	–
ЛСП22-2×65			75		1625×280×170		
ЛСП22-2×65			70		1625×280×170		
ЛПО25-2×40, ЛПО25-4×40	П	Д-1	50	50	–	IP54	6
ЛПО26-20	Н	Д-1	55	45	–	2'0	6
ЛПО28-2×20, ЛПО28-2×40, ЛПО28-2×65	Р	Д-2	75	47	–	2'0	6
ЛПО30-20, ЛПО30-40, ЛПО30-65	Н	Д-1	65	48	–	2'0	6
ЛПО30-2×20, ЛПО30-2×40, ЛПО30-2×65	П	Г-1	60	60	–	IP20	6
ЛПО31-2×40	Р	Д-1	60	35	–	IP20	6
ЛПО31-2×40		Д-2	70	40			
ЛСП03Ех-65	Р	М	72	–	1695×113×390	2ExdeII	1, 2, 3, 5
ЛСП03Ех-80					–		
ЛСП03Ех-2×65	П	Д	62	–	1695×230×390		
ЛСП03Ех-2×80					–		
ЛПП05Ех-18	Р	М	70	–	800×190×150	1ExdeII	1, 2, 3, 5
ЛПП05Ех-2×18					–		
ЛПП05Ех-36	Р	М	70	–	1400×190×150	1ExdeII	1, 2, 3, 5
ЛПП05Ех-2×36					–		
ЛПП05Ех-58					1700×190×150		
ЛПП05Ех-2×58					–		

* Обозначение способа монтажа: 1 – на трубу 3/4"; 2 – на крук; 3 – на монтажный профиль; 4 – к шинопроводу; 5 – на штанге длиной 0,5 или 1,0 м; 6 – на потолке; 7 – на тресе; 8 – на фланце; 9 – к коробу.

** Лампа типа ЛБР.

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

Нормы освещенности зданий и сооружений для хранения сельскохозяйственной продукции, животноводческих и птицеводческих помещений [10, 11]

Помещение, участок, оборудование	Рабочая поверхность ¹⁾	Плоскость	Освещенность при газоразрядных лампах, лк
1	2	3	4
А. Животноводческие здания и сооружения			
<i>а) для крупного рогатого скота молочного направления</i>			
Помещения для содержания коров и ремонтного молодняка:			
– зона кормления;	Пол, зона расположения кормушек	Г	75 ²⁾
– стойла, секции, боксы	Пол	Г	50
Помещения для содержания быков-производителей	Пол, зона расположения кормушек	Г	75
Помещения родильного отделения:			
– для отела коров;	Пол	Г	150
– для санитарной обработки коров;	Пол	Г	75
– профилакторий для содержания телят	Пол	Г	100
Телятники	Пол	Г	100
<i>б) для крупного рогатого скота мясного направления</i>			
Денники и секции для коров-кормилиц с телятами	Пол	Г	75
Помещения для доразщипывания молодняка	Пол	Г	50

1	2	3	4
Помещения для откорма молодняка (стойла, секции, боксы)	Пол	Г	50
Помещения для санитарной обработки, сушки и взвешивания молодняка	Шкала приборов	В	100
<i>в) для свиней</i>			
Помещения для содержания хряков-производителей, холостых и супоросных маток	Пол	Г	75
Помещения для подсосных маток	Пол	Г	100
Помещения для содержания отъемышей и ремонтного молодняка	Пол	Г	75
Помещения для содержания откормочного поголовья	Пол	Г	50
<i>г) для овец и коз</i>			
Помещения для содержания маток, баранов, пробников, молодняка после отбивки валухов	Пол	Г	75
Тепляк с родильным отделением	Пол клетки	Г	100
Помещения для стрижки овец	Стол, настил	Г	200 ³⁾
Открытый баз с кормовой площадкой	Земля	Г	10 ⁴⁾
Помещение для содержания коз, козлов-производителей, козлов-пробников, молодняка	Пол	Г	50
Помещения для вычесывания пуха на козеводческих фермах	Пол	Г	150

1	2	3	4
<i>д) для лошадей</i>			
Помещение для содержания племенных лошадей	Пол	Г	75
Помещения для содержания рабочих лошадей	Пол	Г	50
Помещения для содержания молодняка, манеж для запряжки, седловки и тренинга	Пол	Г	75
Родильное отделение	Пол	Г	150
Ванно-душевой денник	Пол	Г	75
Упрощенное помещение для лошадей (загонный сарай) при табунном содержании	Пол	Г	20 ⁴⁾
Навес коновязью, базы-навесы	Земля	Г	10 ⁴⁾
Б. Птицеводческие здания и сооружения			
Помещения для напольного содержания кур промышленного и родительского стада кур	Пол	Г	75 ⁵⁾
Помещения для клеточного содержания кур	Кормушки (на всех ярусах)	Г	75 ⁵⁾
Помещения для выращивания ремонтного молодняка	Пол	Г	75 ⁶⁾
Помещения для напольного выращивания бройлеров	Пол	Г	75 ⁷⁾
Помещения для клеточного выращивания бройлеров	Кормушки, поилки	Г	75 ⁷⁾
Помещения для содержания родительского стада уток	Пол	Г	75 ⁸⁾
Помещения для выращивания ремонтного молодняка уток	Пол	Г	75 ⁸⁾
Помещения для напольного и клеточного выращивания утят на мясо	Пол	Г	75 ⁹⁾
Помещения для сортировки и обработки цыплят	Стол	Г	300

1	2	3	4
Инкубаторий (инкубационный зал)	Пол	Г	75
Моечная, камера для дезинфекции яиц, участок для упаковки яиц	Зона работы, ванна, стол	Г	150
В. Здания и сооружения для зверей и кроликов			
Помещения закрытого типа для содержания кроликов	0,8 м от пола	Г	75
Шеды всех типов	0,8 м от пола	Г	75
Вольер для молодняка	Пол	Г	10
Г. Здания, сооружения и помещения, общие для животноводческих, птицеводческих и звероводческих предприятий			
<i>а) пункты искусственного осеменения</i>			
Манеж, пункты искусственного осеменения животных	Станок	Г	200 ¹⁰⁾
Помещения со стойлами для передержки животных после осеменения	Стоила	Г	75
<i>б) здания и помещения для доения, обработки и хранения молока</i>			
Преддоильные и последоильные площадки	Пол	Г	50
Доильные залы и площадки	Зона работы оператора машинного доения	Г	200 ³⁾
Помещения для приема, хранения и первичной обработки молока, заквасочная, разливочная	Шкалы приборов и механизмов	Г	150
Холодильные камеры	0,8 м от пола	Г	30 ⁴⁾
Моечная фляг	Ванна	Г	150
Цех расфасовки молока в бумажные пакеты	Расфасовочные автоматы	Г	150 ³⁾
<i>в) ветеринарные объекты</i>			
Кабинет врача, аптека, лабораторные помещения	Стол	Г	200

1	2	3	4
Манеж-приемная, диагностический кабинет	Стол	Г	200
Помещения для проведения лечебных процедур	Стол	Г	200
Моечная-стерилизационная	Стол, раковина	Г	150
Кладовая для биопрепаратов	0,5 м от пола	Г	100
Помещения для убоя	Стол	Г	100
Камера для временного хранения туш	0,8 м от пола	Г	30 ⁴⁾
Помещения для дезинфекции тары, одежды, транспортных средств	Пол	Г	30 ⁴⁾
Утилизационная	Пол	Г	20 ⁴⁾
Помещения для содержания больных животных	Пол	Г	100
Помещения для обработки кожного покрова животных	Пол	Г	200
<i>з) здания для приготовления корма</i>			
Помещения для приема и хранения кормов	Пол	Г	20 ⁴⁾
Участок для обработки и смешивания кормов	Поверхность бункера и смесителя	Г	150
Варочное отделение	0,8 м от пола	Г	100
Площадка для приема кормов	Земля	Г	5 ¹¹⁾
<i>д) сооружения для обработки навоза</i>			
Отделение аэрации и обезвоживания навоза, приемно-распределительная камера	Пол	Г	20 ⁴⁾
Отделение хлорации	Зона работы	Г	75
<i>е) пункты переработки шкурок, шерсти (пуха)</i>			
Остывочная	0,8 м от пола		20 ⁴⁾
Шкуросьемочная и обезжировочная	0,8 м от пола	Г	200

1	2	3	4
Помещения для посола и временного хранения шкур	Пол	Г	100
Сушильное помещение	Пол	Г	20 ⁴⁾
Помещения для сортировки шкурок, пуха	Пол	Г	300 ¹²⁾
Помещения для откатки шкурок по мездре и ворсу	Пол	Г	150
Помещения для классировки и прессования шерсти	Стол, пресс	Г	200
Помещения для хранения шерсти	Пол	Г	20 ⁴⁾
Помещения для сортировки, браковки и маркировки	Стол	Г	300
Площадка естественной сушки шкурок	Пол	Г	100
<i>ж) подсобно-вспомогательные сооружения и площадки</i>			
Лаборатории различного назначения	0,8 м от пола	Г	300
Убойные разные (для звероводческих, кролиководческих, овцеводческих смушкового и каракулевого направления предприятий)	Стол	Г	100
Площадка приема и отгрузки животных	Земля	Г	10
Весовые	Шкала весов	В	150 ¹³⁾
Выгульные площадки	Земля	Г	0,5 ¹⁴⁾
Выгульные кормовые площадки	Кормушка	Г	10
Галереи для прогона животных	Пол	Г	50
Фуражные, помещения для хранения инвентаря, моющих и дезинфицирующих средств, запаса кормов и подстилки	Пол	Г	10 ⁴⁾
Помещения дезинфекционного блока	Пол	Г	75

1	2	3	4
Складские помещения	Пол	Г	30
Помещения для ремонта оборудования и тары (ремонтные мастерские, столярные цеха, кузницы и др.)	Пол	Г	150
Машинные отделения, вентиляционные камеры, электрощитовые	Пол	Г	50
Площадки для транспортных средств	Пол	Г	20
Грузовые коридоры	Пол	Г	75
Складские помещения для картофеля, овощей и фруктов	Пол проезда, проходы	Г	20 ⁴⁾
Складские помещения для зерна (зерносклады)	Пол проезда, проходы	Г	5 ^{4, 15)}
Сортировочная	Зона работы	Г	200
Производственные помещения для обработки зерна (отделения протравливания и термического обеззараживания зерна, электромагнитной очистки семян)	Пол	Г	10 ^{4, 15)}
Сушильно-очистительное отделение для зерновых пунктов	Пол	Г	10
Крытый ток для подработки зерна	Пол	Г	10 ⁴⁾
Шахты, лестницы	Пол	Г	10
Башня силоса или сенажа	На уровне пола или верха массы	Г	5
Вентиляционная, фумигационная камера	Пол	Г	50
Экспедиции	Стол	Г	75
Помещения для проращивания картофеля	Зона работы	Г	100
Помещения для инвентаря и машин	Пол	Г	10 ⁴⁾
Грузовые коридоры	Зона работы	Г	75

1	2	3	4
Помещения для хранения аммиака	Пол	Г	20 ⁴⁾
Цехи товарной обработки и фасовки	Стол	Г	150
Цех переработки	Стол	Г	150
Е. Тепличные предприятия			
Помещения для изготовления питательных кубиков и торфоперегнойных горшков	Зона обслуживания машин и механизмов	Г	75
Помещения для хранения лука, корнеплодов на выгон семян	Пол	Г	50
Помещения для прорастания семян	Пол	Г	75 ¹⁶⁾
Экспедиции (упаковочные, сортировочные)	Стол	Г	75
Помещения (боксы) выдачи продукции	Стол	Г	75
Ж. Склады сухих минеральных удобрений и химических средств защиты			
Складские помещения для удобрений и ядохимикатов	Пол	Г	10
Помещения для обезвреживания и мойки транспортных технологических машин	Пол	Г	30
Помещение для расфасовки и перезатаривания пестицидов	Пол	Г	30
Помещения для хранения необезвреженной тары	Пол	Г	10

¹⁾ Плоскость на которой нормируется освещенность: Г – горизонтальная, В – вертикальная.

²⁾ Во время доения освещенность на вымени коровы должна быть не менее 150 лк.

³⁾ При комбинированном освещении нормируемая освещенность – 300 лк, в том числе от системы общего освещения – 150 лк.

⁴⁾ При использовании ламп накаливания.

⁵⁾ Обеспечить регулирование освещенности по графику в диапазоне 30...75 лк.

⁶⁾ Обеспечить регулирование освещенности по графику в диапазоне 6...25...75 лк.

- 7) Обеспечить регулирование освещенности по графику в диапазоне 5...25...75 лк.
- 8) Обеспечить регулирование освещенности по графику в диапазоне 15...30...75 лк.
- 9) Обеспечить регулирование освещенности по графику в диапазоне 5...30...75 лк.
- 10) При комбинированном освещении нормируемая освещенность – 400 лк, в том числе от общего освещения – 150 лк.
- 11) В зоне механизмов повысить освещенность до 10 лк.
- 12) При комбинированном освещении нормируемая освещенность – 750 лк, в том числе от общего освещения – 150 лк.
- 13) Допускается локализованное размещение светильников.
- 14) Допускается прожекторное освещение.
- 15) В зоне механизмов повысить освещенность до 20 лк.
- 16) Обеспечить световое облучение в соответствии с требованиями технологии проращивания семян.

ПРИЛОЖЕНИЕ 13

Нормируемые значения освещенности общепромышленных помещений и сооружений [5, 9, 13]

Помещения и производственные участки, оборудование, сооружения	Поверхность нормирования (Г – горизонтальная, В – вертикальная)	Нормируемая освещенность, лк			Показатель ослепленности, не более	Коэффициент пульсации, %, не более
		при общем освещении	при комбинированном освещении			
			всего	от общего		
1	2	3	4	5	6	7
Ремонтно-механические участки						
слесарно-механические (металлорежущих станков и слесарных работ)	Г 0,8	500	2000	200	20	10
сборочные и сборочно-монтажные	Г 0,8	300	1000	200	40	15
заготовительные	Г 0,8	200	–	–	40	20
кузнечные и термические	Г 0,8	200	–	–	40	20
сварочных и сварочно-наплавных работ	Г 0,0	200	–	–	40	20
Участки по обслуживанию автомобилей						
мойки и уборки, расположенные в помещениях	Г 0,0	150	–	–	40	20
мойки агрегатов, узлов и деталей	Г места загрузки и выгрузки	150	–	–	40	20
ремонта и технического обслуживания	Г 0,0; В на машине	300	400	200	40	20

1	2	3	4	5	6	7
кузовные, столярные и обойные	Г 0,8	300	500	200	40	20
шиномонтажные и шиноремонтные	Г 0,8	300	400	200	40	20
диагностирования автомобилей	Г 0,8	200	–	–	40	20
ремонта электрооборудования	Г 0,8	300	–	–	40	20
	Г верстак, стэнд	–	750	200	–	20
слесарно-механические	Г 0,8	300	–	–	20	20
окрасочные грузовых автомобилей и автобусов	Г, В кузов автомобиля	200	–	–	40	20
сушки автомобилей и автобусов	Г 0,8	200	–	–	–	–
	Г верстак	200	400	200	–	20
открытые стоянки, площадки для хранения подвижного состава (без подогрева)	Г на открытии	2	–	–	–	–
помещения закрытого хранения подвижного состава	Г 0,0	50	–	–	–	–
Участки деревообрабатывающих предприятий						
Лесопильные:						
– с лесопильными рамами, обрезными станками, станками для торцовки плит	Г 0,8	200	400	200	40	20
– отделения переработки и транспортировки отходов	Г 0,8	200	–	–	40	20

1	2	3	4	5	6	7
Сортировочные: – места браковки и сортировки	Г доска	200	600	200	20	15
Склад пиломатериалов	Г 0,0	200	–	–	40	20
Цех сушильный	Г 0,0	200	–	–	40	20
Сборки и изготовле- ния тары	Г 0,0	200	–	–	40	20
Плотницкие	Г 0,0	200	–	–	40	20
Столярно-сборочные	Г 0,8	200	400	200	40	15
Склады готовой продукции и промежуточного складирования	Г пол	200	–	–	40	20
Склады (кладовые)						
химикатов, карбида кальция, кислот, щелочей и т. п.	Г 0,0	50	–	–	–	–
громоздких предметов и сыпучих материалов (песка, цемента и т. п.)	Г 0,0	75	–	–	–	–
металла, запасных частей, ремонтного фонда, готовой продукции, деталей	Г 0,0	75	–	–	–	–
сливно-наливные эстакады	Г пол площадки	5	–	–	–	–
	Г горло- вина цистерны	20	–	–	–	–
Электроремонтные участки						
изготовления обмоток (намотки катушечных групп, изоляции секций)	Г В, 0,8	300	750	200	40	15
укладки обмоток	Г, В 0,8	300	750	200	40	15

1	2	3	4	5	6	7
пропитки и компаундирования	Г 0,8	200	–	–	40	20
сушки изоляционных материалов и деталей	Г 0,8	200	–	–	40	20
сборочные (узловой сборки, генеральной сборки, испытания)	Г 0,8	300	1000	200	40	15
ремонта низковольтной аппаратуры	Г 0,8	300	750	200	40	15
ремонта трансформаторов	Г 0,0	300	400	200	40	20
ремонта аппаратов и приборов	Г 0,8	600	2500	300	10	10
Электропомещения						
распределительных устройств, электрощитовые с периодическим пребыванием людей	Г 0,8	150	–	–	40	20
	Г, В 1,5, пульты управления, шкалы приборов	150	–	–	40	20
	В 1,5, задняя сторона щита	50	–	–	–	–
Пульты и щиты управления						
– с измерительной аппаратурой	Г 0,8, В 1,5, шкалы приборов	150	–	–	–	20
– без измерительной аппаратуры	Г 0,8, В, 1,5, рычаги, рукоятки, кнопки	150	–	–	–	20

1	2	3	4	5	6	7
Размещения трансформаторов, статических конденсаторов	В, 1,5	75	–	–	–	–
Электрощитовые в жилых и общественных зданиях	В, 1,5	75	–	–	–	–
Электромашинные помещения с периодическим пребыванием людей	Г, 0,8; В, 1,5 на щитах	150	–	–	40	20
Котельные						
Площадки обслуживания котлов	В на топках, затворках, питателях	200	–	–	40	20
Площадки и лестницы котлов, проходы за котлами	Г 0,0	50	–	–	–	–
Помещения дымососов, вентиляторов, бункерное отделение	Г 0,8	150	–	–	40	20
Помещения конденсационной, химводоочистки, деаэрационной, бойлерной, зольное	Г 0,0	75	–	–	–	–
Помещения топливоподачи	Г 0,8	150	–	–	40	20
Надбункерные помещения	Г 0,8	50	–	–	–	–
Участки расположения запорной и регулирующей аппаратуры:						
а) в помещениях	В на топках, задвижках, вентилях, клапанах	75	–	–	–	–
б) вне зданий		30	–	–	–	–

1	2	3	4	5	6	7
Участки водоснабжения, канализации и компрессорных установок						
Водоприемные установки	Г 0,0	75	–	–	–	–
Помещения насосов	Г 0,8	200	–	–	40	20
Помещения трубопроводов	Г 0,0	50	–	–	–	–
Водонапорная башня	Г 0,0	50	–	–	–	–
Помещения для кондиционеров и насосов, тепловые пункты	Г 0,8	150	–	–	40	20
Помещения инженерных сетей и прочие технические помещения						
Машинные залы насосных, компрессорные и воздуходувные:						
– с постоянным дежурством персонала	Г 0,8	200	–	–	40	20
	В на шкалах приборов	150	–	–	–	20
	Г стол машиниста	200	400	200	–	20
– без постоянного дежурства персонала	Г 0,8	150	–	–	40	20
	В на шкалах приборов	150	–	–	–	20
Компрессорные (станции, помещения, залы):						
– с постоянным дежурством персонала	Г 0,8	200	–	–	40	20
	В на шкалах приборов, щите управления	150	–	–	–	20

1	2	3	4	5	6	7
	Г стол маши- ниста	200	400	200	–	20
– без постоянного дежурства персонала	Г 0,8	150	–	–	60	20
	В на шкалах прибо- ров, щите управ- ления	150	–	–	–	20
Помещения инженерных сетей (галереи и тоннели, транспортёров, конвейеров, кабельные, теплофика- ционные, водопровод- ные и др.)	Г 0,0	20	–	–	–	–

ПРИЛОЖЕНИЕ 14

Нормируемые показатели освещения помещений общественных зданий
и сооружений [5, 9, 13]

Помещения	Поверхность и плоскость нормирования (Г – горизон- тальная, В – вертикальная)	Норми- руемая освещен- ность, лк, при:		Цилиндрическая освещенность, лк	Показатель дискомфорта, не более	Коэффициент пульсации, %, не более
		комбинированном освещении	общем освещении			
1	2	3	4	5	6	7
Общеобразовательные школы и школы-интернаты						
Классные комнаты, ауди- тории, учебные кабинеты, лаборатории, лаборантские: – на доске (середина) – на рабочих столах и партах	В на доске	–	500	–	–	15
	Г 0,8	–	500	–	40	15
Кабинеты информатики и вычислительной техники	В 1,2 на экранах дисплеев; Г, 0,8 на столах, партах	500	400	–	25	10
Мастерские по обработке металлов и древесины	Г 0,8 на верстаках и рабочих столах	1000	500	–	40	15
Кабинеты обслуживающих видов труда для девочек: – по обработке тканей (шитье)	Г 0,8	–	500	–	40	10

1	2	3	4	5	6	7
– кулинария	Г 0,8	–	300	–	40	15
Спортивные залы	Г 0,0; В 2,0 с обеих сторон на продольной оси помещения	–	75	–	–	–
Снарядные, инвентарные, хозяйственные кладовые	Г 0,8	–	75	–	–	–
Актовые залы, киноаудитории	Г 0,8	–	200	75	90	–
Эстрады актовых залов	В 1,5	–	300	–	–	–
Кабинеты и комнаты преподавателей	Г 0,8	–	300	–	40	15
Библиотеки						
Читальные залы	Г 0,8	400	300	100	40	15
Помещения записи и регистрации читателей	Г 0,8	–	200	–	60	20
Читательские каталоги	В фронт карточек	–	200	–	60	20
Помещения для работы с дисплеями и видеотер- миналами, дисплейные залы	В 1,2 на экранах дисплеев; Г 0,8 на рабочих столах	500	400	–	25	10
Предприятия общественного питания						
Обеденные залы, буфеты	Г 0,8	–	200	75	60	20
Раздаточные	Г 0,8	–	300	–	40	15
Горячие, холодные, дого- товочные и заготовочные цехи	Г 0,8	–	200	–	60	20
Моечные кухонной и столовой посуды, помещения для резки хлеба, помещение заведующего производством	Г 0,8	–	200	–	60	20

1	2	3	4	5	6	7
Кондитерские цехи и помещения для мучных изделий	Г 0,8	–	300	–	40	15
Моечные тары полуфабрикатов	Г 0,8	–	200	–	60	20
Помещения для персонала	Г 0,8	–	200	–	60	20
Жилые дома						
Жилые комнаты, кухни	Г 0,8	–	100	–	–	–
Коридоры, ванные, туалеты	Г 0,0	–	50	–	–	–
Общедомовые помещения: – вестибюли жилых зданий	Г 0,0	–	30	–	–	–
– поэтажные коридоры и лифтовые холлы жилых зданий	Г 0,0	–	20	–	–	–
– лестницы и лестничные площадки жилых зданий	Г 0,0 площадки, ступени	–	10	–	–	–
Бытовые здания и помещения предприятий						
Санитарно-бытовые помещения: – умывальные, туалет, курительные	Г 0,0	–	75	–	–	–
– душевые, гардеробные	Г 0,0	–	50	–	–	–
Здравпункты						
– ожидальные	Г 0,8	–	200	–	60	15
– регистратура, комнаты дежурного персонала, кабинет заведующего	Г 0,8	–	200	–	60	15
– кабинеты врачей, перевязочные	Г 0,8	–	300	–	15	15
– процедурные кабинеты	Г 0,8	–	200	–	25	15
Здания управления						
Кабинеты и рабочие комнаты	Г 0,8	400	300	–	60	15

1	2	3	4	5	6	7
Конференц-залы, залы заседаний	Г 0,8	–	200	75	60	15
Прочие помещения производственных, вспомогательных и общественных зданий						
Помещения дежурного персонала	Г 0,8	–	150 ¹⁾	–	60	20
Коридоры и проходы: – главные коридоры и проходы	Г 0,0	–	75	–	–	–
– прочие коридоры и проходы	Г 0,0	–	50	–	–	–
Остальные проходы в технических этажах, подвалах и чердаках	Г 0,0	–	10 ²⁾	–	–	–
Чердаки	Г 0,0	–	5 ²⁾	–	–	–

¹⁾ Для местного освещения предусмотреть розетки.

²⁾ Нормы для ламп накаливания.

ПРИЛОЖЕНИЕ 15

Категории и примерный перечень сельскохозяйственных помещений по условиям окружающей среды

Категория помещения	Характеристика окружающей среды	Примерный перечень помещений
1	2	3
Сухие	Относительная влажность – не более 60 %. Конденсация паров влаги невозможна	Инкубатории, котельные, отапливаемые склады негорючих материалов, электрощитовые, тепловые узлы, вентиляционные камеры, конторы, помещения для обслуживающего персонала ферм, подсобные помещения и т. п.
Пыльные	По технологическим условиям производства выделяется пыль в таком количестве, что она может оседать на проводах, проникать внутрь машин, аппаратов, светильников и т. п.	Цехи по дроблению и приготовлению сухих концентрированных кормов, склады сыпучих негорючих материалов, пункты послеборочной обработки зерна и технических культур
Влажные	Относительная влажность – более 60 %, но не превышает 75 %. Пары или конденсирующаяся влага выделяются лишь временно и в небольших количествах	Неотапливаемые склады негорючих материалов, лестничные клетки, помещения для холодильного оборудования, помещения для ремонта оборудования
Сырые	Относительная влажность – более 75 %. Имеются пары влаги, способные конденсироваться при небольших понижениях температуры	Помещения для теплогенераторов, цехи по переработке продуктов животноводства, плодов и овощей, лаборатории для анализов молока, помещения для

1	2	3
		<p>искусственного осеменения животных, помещения ветосмотра и санобработки коров, родильные отделения и ветпункты, вакуум-насосные, кормонавозные проходы. При наличии установок микроклимата: помещения для содержания крупного рогатого скота, свиней, птицы и других животных</p>
<p>Особо сырые</p>	<p>Относительная влажность близка к 100 %: потолок, стены, пол и находящиеся предметы покрыты влагой</p>	<p>Кормоприготовительные цехи для влажных кормов, овощехранилища, фруктохранилища, парники, теплицы, моченные отделения цехов по переработке плодов и овощей, доильные залы, молочные блоки, моченные отделения животноводческих ферм и мастерских, силосные и сенажные башни, наружные установки под навесом, в сараях и подсобных неотапливаемых помещениях с температурой, влажностью и составом воздуха, практически не отличающимися от наружных условий</p>

1	2	3
Особо сырые с химически активной средой	Относительная влажность близка к 100 %. Постоянно или длительное время содержатся пары аммиака, сероводорода или других газов взрывоопасной концентрации или же образуются отложения, разъедающие изоляцию и токоведущие части электрооборудования	Помещения для содержания крупного рогатого скота, свиней, птицы и других животных при отсутствии в них установок по созданию микроклимата. Склады минеральных удобрений, помещения для протравливания семян
Пожароопасные класса П-I	Применяются или хранятся горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 61 °С	Склады минеральных масел, установки по регенерации минеральных масел
Пожароопасные класса П-II	Выделяются горючие пыли или волокна, переходящие во взвешенное состояние. Возникающая опасность ограничена пожаром (но не взрывом), содержание пыли или волокон не достигает взрывоопасных концентраций	Деревообделочные цехи, малозапыленные помещения мельниц, элеваторов, зернохранилищ
Пожароопасные класса П-Па	Содержатся твердые или волокнистые горючие вещества, причем признаки, перечисленные для помещений П-II, отсутствуют	Производственные и складские помещения и зоны, содержащие твердые или волокнистые горючие вещества
Пожароопасные класса П-III	Применяются или хранятся горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 61 °С	Склады открытые или под навесом для минеральных масел, угля, торфа, дерева и т. п.

1	2	3
Взрывоопасные класса В-Ia	При нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих паров или газов с воздухом или другими окислителями не имеют места, а возможны только в результате аварий или неисправностей	Хранилища легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, аккумуляторные
Взрывоопасные класса В-IIa	По условиям технологии могут образовываться взрывоопасные смеси горючей пыли или волокон с воздухом	Комбикормовые заводы, мельницы, склады сыпучих горючих материалов

ПРИЛОЖЕНИЕ 16

Степени защиты электротехнических изделий
и оборудования от попадания посторонних твердых тел,
пыли и проникновения влаги

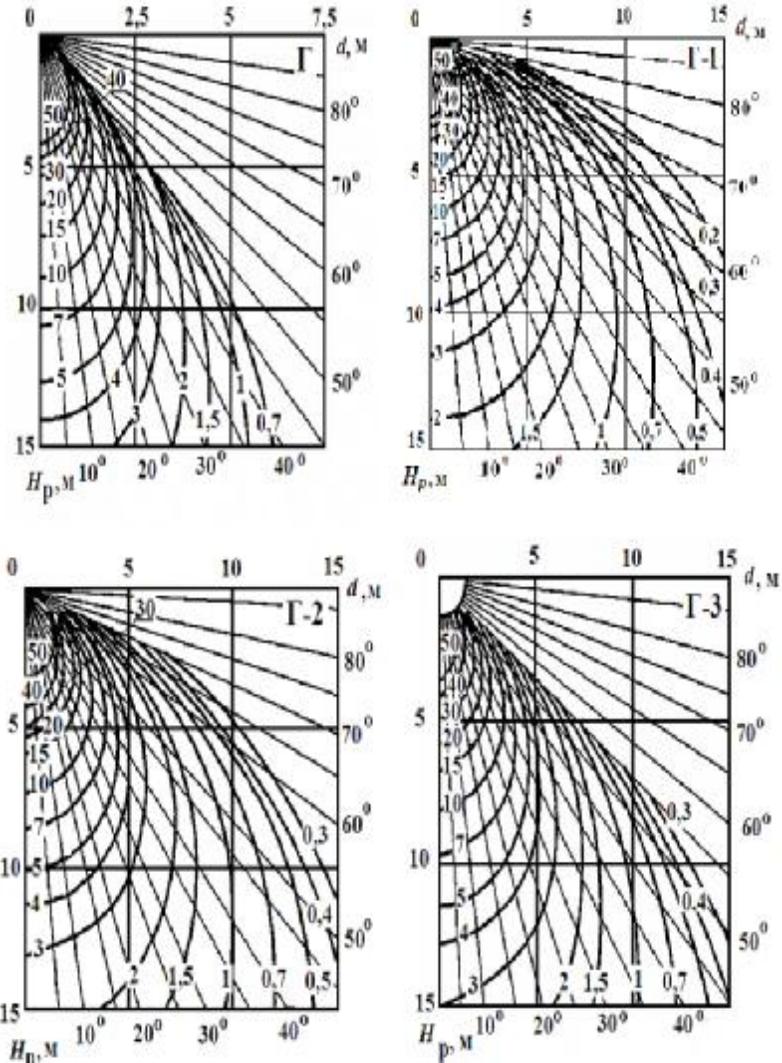
Цифровое обозначение степеней защиты	Защита от попадания твердых посторонних тел* и пыли (первая цифра в условном обозначении)	Защита от проникновения влаги (вторая цифра в условном обозначении)
0	Защита отсутствует	Защита отсутствует
1	Защищено от попадания твердых тел размером 50 мм и более	Защищено от капель воды (вертикально падающие капли не оказывают вредного влияния на оборудование, помещенное в оболочку)
2	Защищено от попадания твердых тел размером 12,5 мм и более	Защищено от капель воды (капли, падающие на оболочку, наклоненную под углом не более 15° к вертикали, не оказывают вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку) – <i>каплезащищенное исполнение</i>
3	Защищено от попадания твердых тел размером 2,5 мм и более	Защищено от дождя (капли, падающие на оболочку, наклоненную под углом не более 60° к вертикали, не оказывают вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку) – <i>дождезащищенное исполнение</i>
4	Защищено от попадания твердых тел размером 1 мм и более	Защищено от брызг (брызги воды любого направления, падающие на оболочку, не оказывают вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку) – <i>брызгозащищенное исполнение</i>

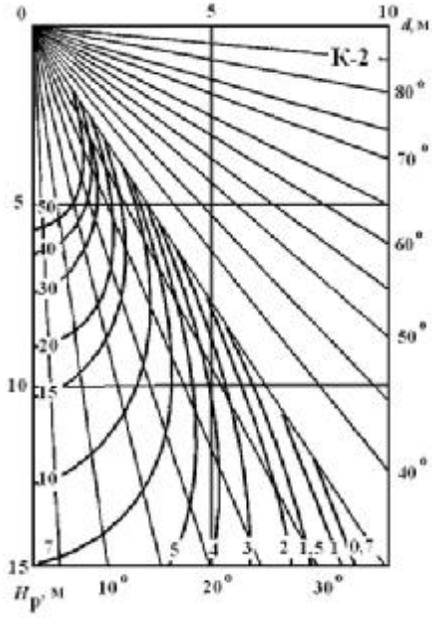
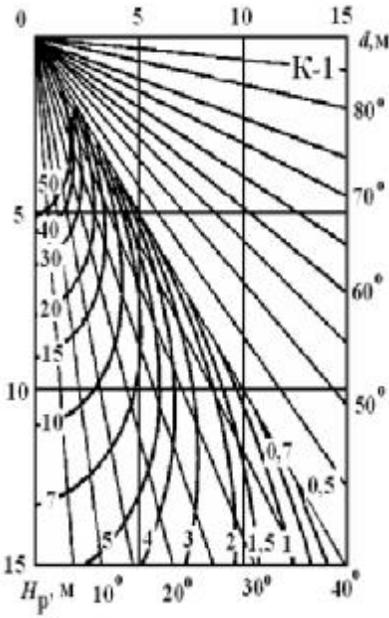
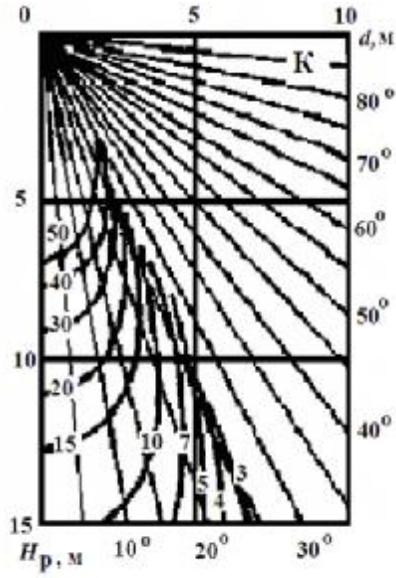
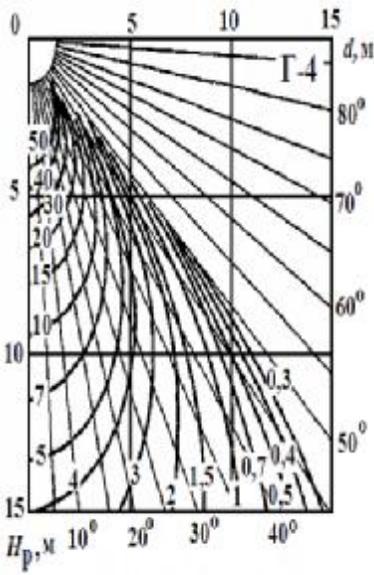
Цифровое обозначение степеней защиты	Защита от попадания твердых посторонних тел* и пыли (первая цифра в условном обозначении)	Защита от проникновения влаги (вторая цифра в условном обозначении)
5	Защищено от попадания пыли внутрь оболочки в количестве, достаточном для нарушения работы изделия – <i>пылезащищенное исполнение</i>	Защищено от водяных струй (вода, выбрасываемая через наконечник на оболочку в любом направлении, не оказывает вредного воздействия на оборудование, помещенное в оболочку) – <i>струезащищенное исполнение</i>
6	Полностью защищено от попадания внутрь оболочки пыли – <i>пыленепроницаемое исполнение</i>	Защищено от воздействий, характерных для палубы корабля (при захлестывании волной вода не должна попадать в оболочку)
7	–	Защищено при погружении в воду (вода не должна проникать в оболочку в течение определенного времени) – <i>водонепроницаемое исполнение</i>
8	–	Защищено при неограниченно длительном погружении в воду и определенном давлении (вода не должна проникать внутрь оболочки) – <i>герметическое исполнение</i>

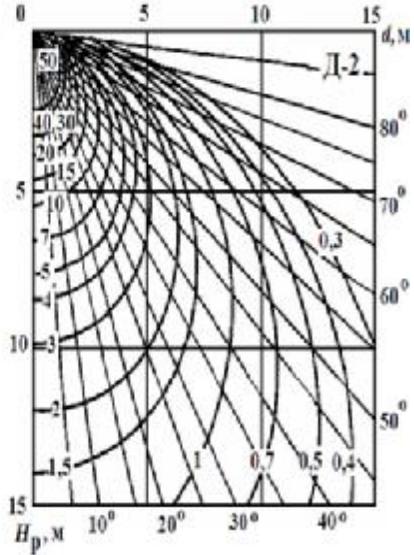
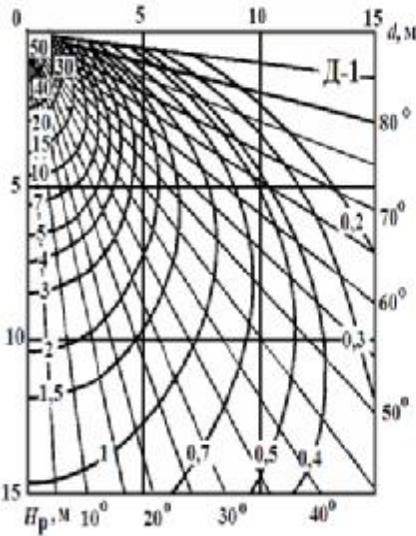
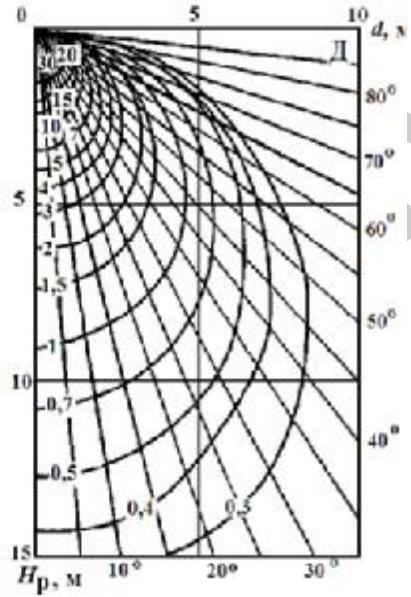
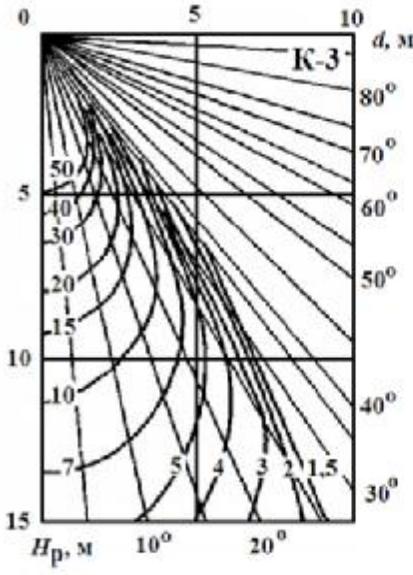
* Любого из параметров – диаметра, высоты, ширины, длины.

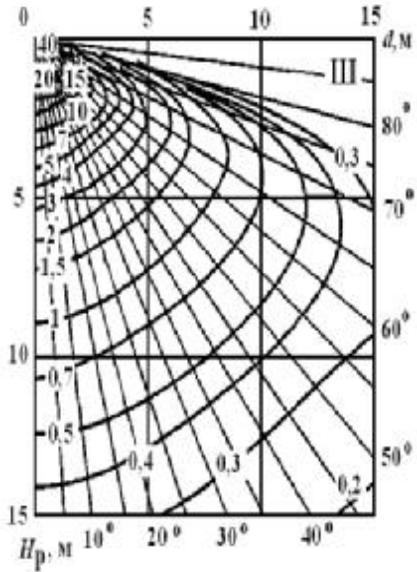
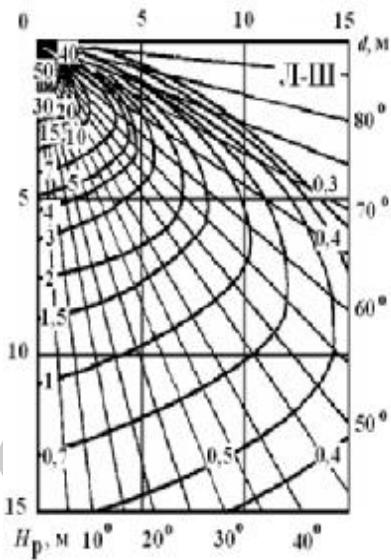
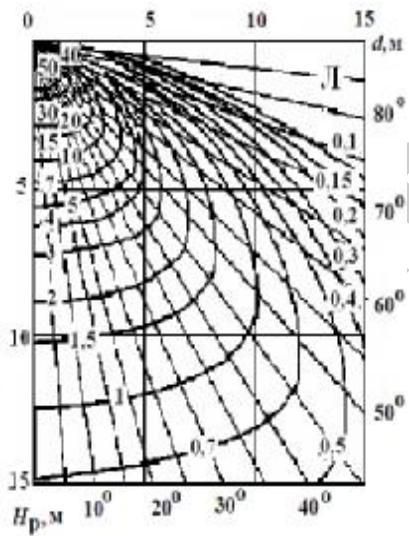
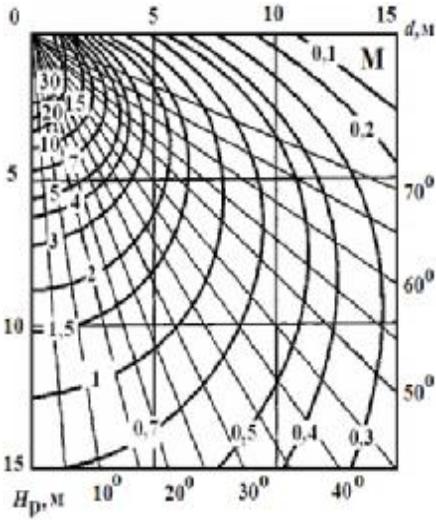
ПРИЛОЖЕНИЕ 17

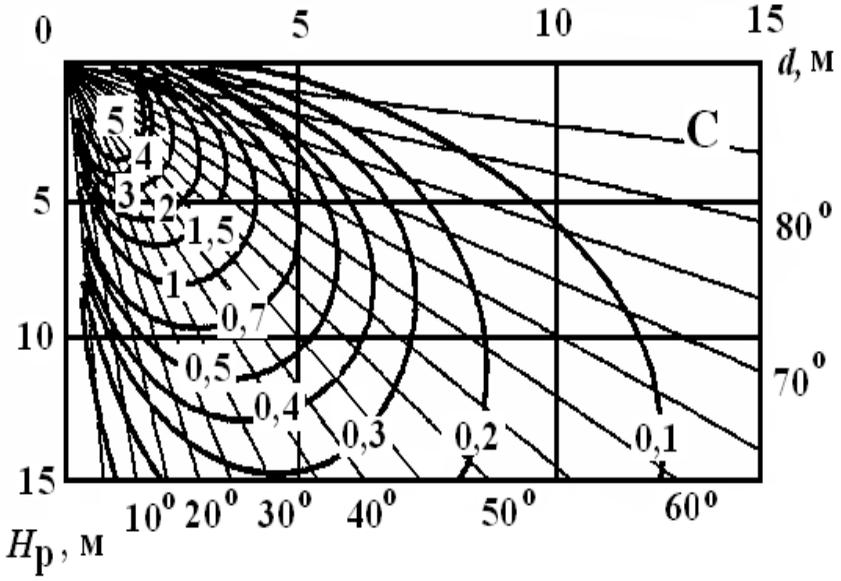
Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности для светильников круглосимметричного светораспределения с типовыми и детализированными кривыми силы света (лк)







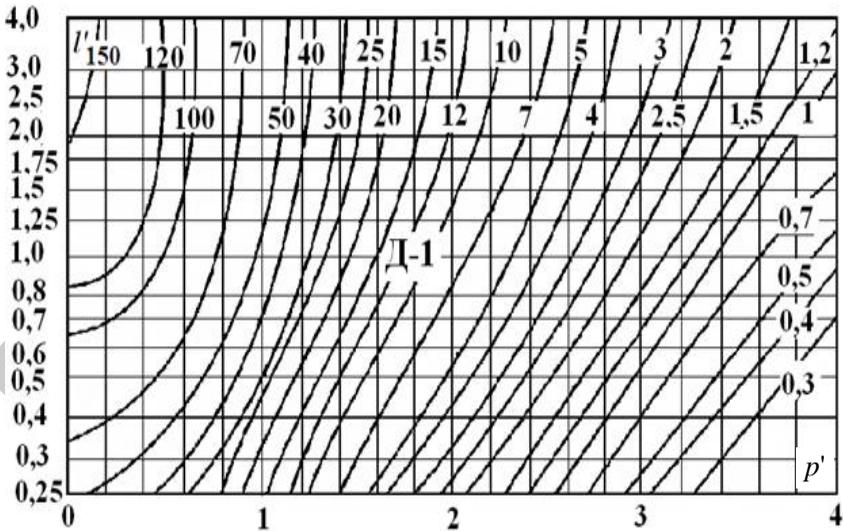
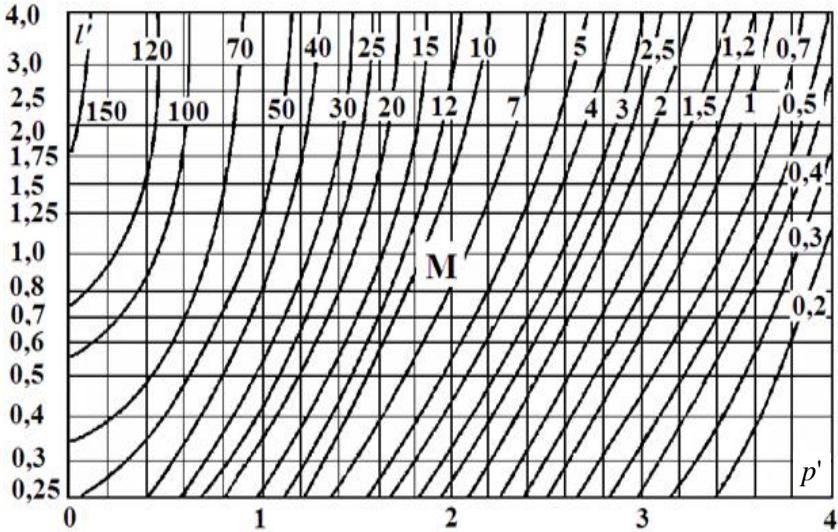


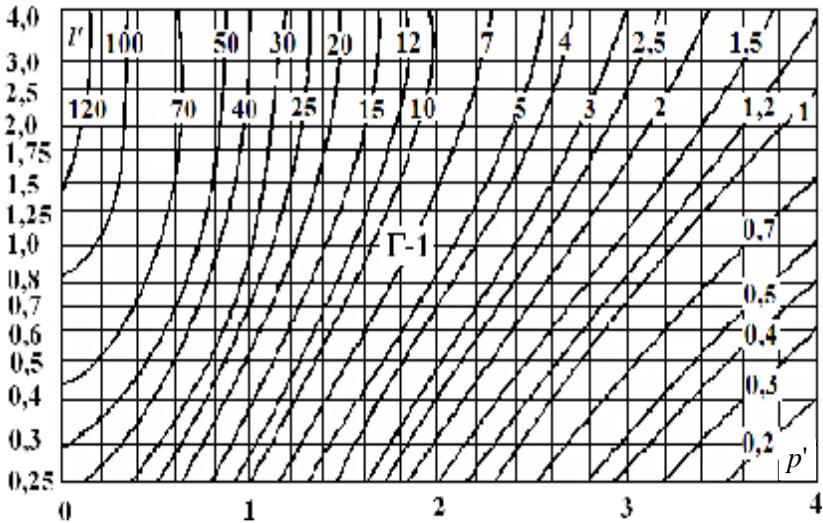
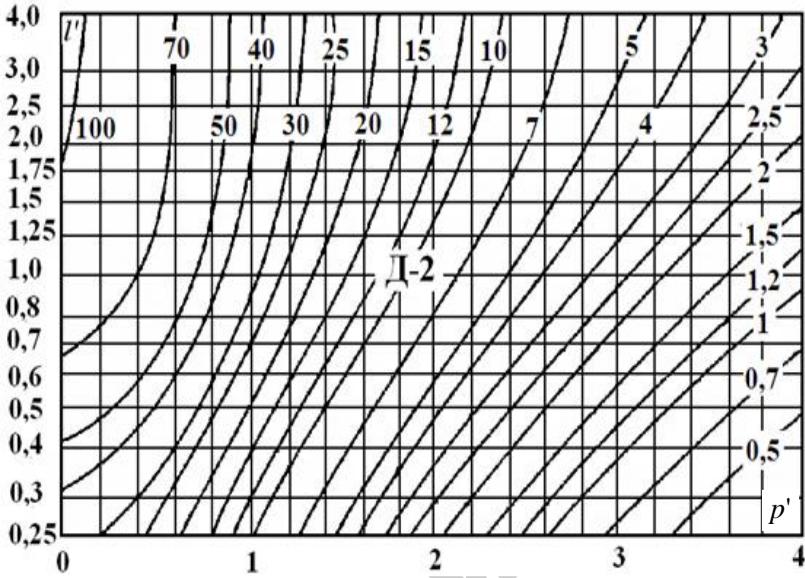


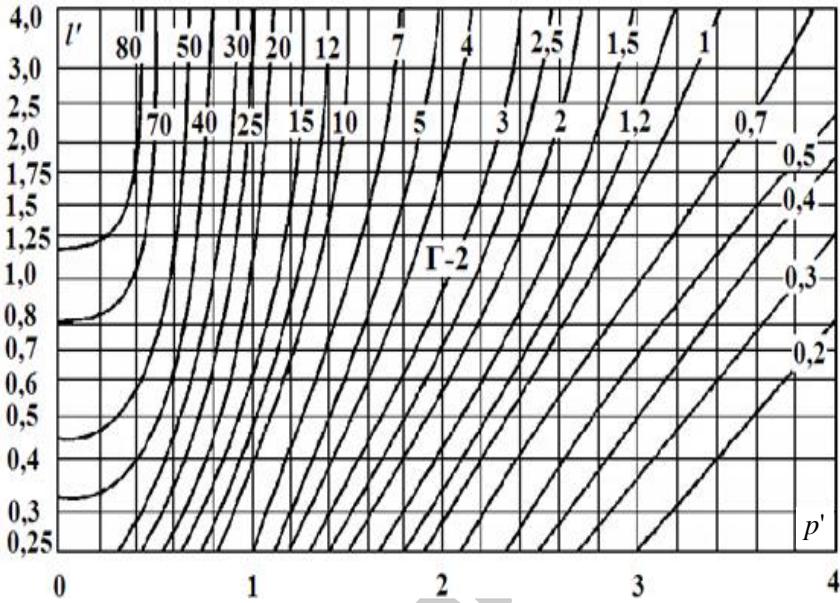
РЕПОЗИТОР

ПРИЛОЖЕНИЕ 18

Линейные изолюксы условной горизонтальной освещенности для
светильников с детализированными кривыми силы света, лк







ПРИЛОЖЕНИЕ 19

Значения коэффициентов использования светового потока
осветительных установок для светильников с детализированными типами КСС
и зональных множителей для верхней полусферы

Тип кривой силы света	Коэффициент использования светового потока η , %											
	$\rho_{\Pi} = 70, \rho_C = 50, \rho_P = 30$ (%)						$\rho_{\Pi} = 70, \rho_C = 50, \rho_P = 10$ (%)					
	Индекс помещения, i											
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	35	50	61	73	85	95	34	47	56	66	75	86
Д-1	36	50	58	72	81	90	36	47	56	63	73	79
Д-2	44	52	68	84	93	103	42	51	64	76	76	84
Г-1	49	60	75	90	101	106	48	57	71	82	89	94
Г-2	58	68	82	96	102	109	55	64	78	86	92	96
Г-3	64	74	85	95	100	105	62	70	79	86	90	93
Г-4	70	77	84	90	94	99	65	71	78	83	86	87
К-1	74	83	90	96	100	106	69	76	83	88	91	92
К-2	75	84	95	104	108	115	71	78	87	95	97	100
К-3	76	85	96	106	110	116	73	80	90	94	99	102
Л	32	49	59	71	83	91	31	46	55	65	74	83
Зональные множители для верхней полусферы, отн. ед.												
$K_{п.р}$	0,30	0,38	0,49	0,60	0,68	0,75	0,28	0,36	0,46	0,54	0,60	0,66
$K'_{п.р}$	0,24	0,31	0,43	0,55	0,64	0,73	0,22	0,29	0,41	0,50	0,57	0,64

Тип кривой силы света	Коэффициент использования светового потока η , %											
	$\rho_{\Pi} = 70, \rho_C = 30, \rho_P = 10$ (%)						$\rho_{\Pi} = 50, \rho_C = 50, \rho_P = 30$ (%)					
	Индекс помещения, i											
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	26	36	46	56	67	80	32	45	55	67	74	84
Д-1	28	40	49	59	68	74	36	48	57	66	76	85
Д-2	33	43	56	74	80	76	42	51	65	71	90	85
Г-1	42	52	69	78	73	76	45	56	65	78	76	84
Г-2	48	60	73	84	90	94	55	66	80	92	98	103
Г-3	57	66	76	84	83	91	63	72	83	91	96	100
Г-4	62	69	76	81	84	85	68	73	81	87	91	94
К-1	65	73	81	86	89	90	70	78	86	92	96	100
К-2	67	75	84	93	97	100	72	80	91	99	103	108
К-3	68	77	86	95	98	101	74	83	93	101	106	110
Л	24	40	50	62	71	77	32	47	57	69	79	90

Тип кривой силы света	Коэффициент использования светового потока η , %											
	$\rho_{\Gamma} = 50, \rho_{\Sigma} = 50, \rho_{\text{P}} = 10$ (%)						$\rho_{\Gamma} = 50, \rho_{\Sigma} = 30, \rho_{\text{P}} = 10$ (%)					
	Индекс помещения, i											
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	31	43	53	63	72	80	23	36	45	56	65	75
Д-1	34	47	54	63	70	77	27	40	48	55	65	73
Д-2	40	48	61	74	92	84	33	42	52	69	75	86
Г-1	44	53	69	77	83	80	41	48	64	76	70	88
Г-2	53	63	76	85	90	94	48	58	72	83	86	93
Г-3	61	68	78	84	88	91	57	65	75	83	86	90
Г-4	65	71	78	81	84	85	62	68	74	81	83	85
К-1	68	77	83	86	89	90	64	73	80	86	88	90
К-2	71	78	87	93	98	99	68	74	84	92	93	99
К-3	72	79	88	94	97	99	68	76	85	93	95	99
Л	30	45	55	65	70	78	24	40	49	60	70	76
Зональные множители для верхней полусферы, отн. ед.												
$K_{\text{п.р}}$							0,16	0,21	0,28	0,35	0,40	0,44
$K'_{\text{п.р}}$							0,11	0,16	0,24	0,31	0,36	0,42

Тип кривой силы света	Коэффициент использования светового потока η , %											
	$\rho_{\Gamma} = 30, \rho_{\Sigma} = 10, \rho_{\text{P}} = 10$ (%)						$\rho_{\Gamma} = 0, \rho_{\Sigma} = 0, \rho_{\text{P}} = 0$ (%)					
	Индекс помещения, i											
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	17	29	38	46	58	67	16	28	38	45	55	65
Д-1	27	35	42	52	61	68	21	33	40	49	58	66
Д-2	28	36	48	63	75	81	25	33	47	61	70	78
Г-1	35	45	60	73	68	77	34	44	56	71	68	74
Г-2	43	54	68	79	85	90	43	53	66	77	82	86
Г-3	53	62	73	80	84	86	53	61	71	78	82	85
Г-4	61	66	72	78	81	83	59	65	71	78	80	81
К-1	62	71	77	83	86	88	60	69	77	84	85	86
К-2	68	72	80	89	93	97	65	71	79	88	92	95
К-3	64	73	83	90	94	97	64	72	81	88	91	94
Л	20	35	44	48	65	69	17	33	42	53	63	70
Л-Ш							12	26	35	47	58	68
Ш							9	17	25	36	49	62
Зональные множители для верхней полусферы, отн. ед.												
$K_{\text{п.р}}$	0,08	0,11	0,15	0,19	0,22	0,25	0	0	0	0	0	0
$K'_{\text{п.р}}$	0,05	0,07	0,12	0,16	0,20	0,24	0	0	0	0	0	0

ПРИЛОЖЕНИЕ 20

Значения удельной мощности общего освещения светильниками с лампами
накаливания (при $\rho_{\text{П}} = 50\%$, $\rho_{\text{С}} = 30\%$, $\rho_{\text{Р}} = 10\%$,
 $K_3 = 1,3$; $z = 1,15$ и КПД светильника $\eta_{\text{С}} = 100\%$ *)

Н _р , м	Площадь помещения, м ²	Удельная мощность (Вт·м ²) при освещенности равной, лк						
		5	10	20	30	50	75	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Светильники с характеристикой светораспределения П, Д-1								
4...6	10...17	2,8	5,5	11,3	13,5	22,2	33,4	44,4
	17...25	2,4	4,6	8,8	11,6	19,3	29,0	38,6
	25...35	2,0	3,8	6,6	9,4	15,6	23,4	31,2
	35...50	1,5	2,9	5,3	7,6	13,2	19,8	26,4
	50...80	1,2	2,3	4,5	6,3	10,4	15,6	20,8
	80...150	1,1	2,1	3,7	5,3	8,5	12,7	16,9
	150...400	0,9	1,8	3,1	4,4	7,3	10,9	14,6
	>400	0,7	1,4	2,5	3,3	5,8	8,7	11,6
6...8	25...35	2,7	5,0	8,3	12,4	20,6	30,9	41,2
	35...50	2,3	4,2	7,3	10,9	18,1	27,2	36,3
	50...65	1,9	3,4	6,3	9,5	15,8	23,7	31,6
	65...90	1,6	2,8	5,5	8,3	13,8	20,7	27,6
	90...135	1,3	2,3	4,5	6,7	11,2	16,8	22,4
	135...250	1,1	2,0	3,5	5,3	8,8	13,3	17,7
	250...500	1,0	1,8	3,1	4,7	7,8	11,7	15,6
	>500	0,7	1,3	2,5	3,6	6,1	9,2	12,2
Светильники с характеристикой светораспределения П, Д-2								
2...3	10...15	2,0	3,6	6,4	9,0	14,7	21,1	26,9
	15...25	1,7	7,0	5,2	7,3	11,6	16,8	21,4
	25...50	1,4	2,6	4,5	6,2	10,0	14,2	18,0
	50...150	1,2	2,2	3,8	5,2	8,5	12,0	15,5
	150...300	1,0	1,8	3,3	4,5	7,5	10,6	13,6
	>300	1,0	1,7	3,0	4,2	7,0	9,9	12,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3...4	10...15	2,9	4,9	9,8	13,1	20,0	28,6	36,6
	15...20	2,3	3,9	7,3	10,3	17,1	23,0	31,0
	20...30	1,9	3,2	5,8	8,5	13,9	18,6	24,8
	30...50	1,5	2,6	4,6	6,8	10,7	15,0	19,2
	50...120	1,3	2,2	3,8	5,8	9,0	12,5	15,9
	120...300	1,0	1,8	3,3	4,9	7,6	10,4	13,4
	>300	0,9	1,5	2,9	4,2	6,6	8,8	11,7
Светильники с характеристикой светораспределения П, Г-1								
3...4	10...15	1,9	3,4	6,4	9,0	14,1	20,4	25,2
	15...20	1,7	3,0	5,6	8,2	12,9	17,4	22,5
	20...30	1,6	2,7	5,0	7,3	11,7	15,8	20,4
	30...50	1,3	2,3	4,2	6,3	9,8	13,6	17,4
	50...120	1,1	2,0	3,6	5,3	8,2	11,4	14,7
	120...300	1,0	1,7	2,9	4,6	7,0	9,6	12,9
	>300	0,9	1,5	2,7	4,1	6,3	8,6	11,3
4...6	10...17	2,8	5,1	9,3	14,9	22,7	31,5	42,0
	17...25	2,3	4,2	7,5	11,6	17,3	25,2	33,6
	25...35	1,9	3,5	6,4	9,0	14,0	21,7	28,9
	35...50	1,7	2,9	5,4	7,7	11,6	18,0	24,0
	50...80	1,4	2,5	4,7	6,5	10,0	14,8	19,7
	80...150	1,1	2,0	3,8	5,4	8,3	12,3	16,4
	150...400	0,9	1,7	3,1	4,2	6,6	9,9	13,2
	>400	0,8	1,4	2,6	3,5	5,5	8,1	10,8
6...8	25...35	2,7	4,5	7,4	11,7	19,5	29,3	39,0
	35...50	2,2	3,8	6,5	9,9	16,5	24,8	33,0
	50...65	1,8	3,3	5,7	8,6	14,3	21,5	28,7
	65...90	1,5	2,9	5,0	7,4	12,4	18,6	24,8
	90...135	1,3	2,5	4,4	6,2	10,3	15,5	20,6
	135...250	1,1	2,0	3,5	5,1	8,6	12,8	17,1
	250...500	0,8	1,7	2,9	4,2	7,1	10,6	14,1
>500	0,7	1,3	2,3	3,4	5,6	8,4	11,3	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Светильники с характеристикой светораспределения П, Л								
4...6	10...17	3,8	7,5	15,7	27,2	33,6	52,2	69,6
	17...25	3,2	6,1	12,6	19,7	27,2	40,5	54,0
	25...35	2,5	4,5	8,5	12,5	19,4	28,2	37,6
	35...50	1,9	3,3	6,2	8,7	13,6	19,8	26,4
	50...80	1,4	2,5	4,6	6,4	10,2	14,9	19,8
	80...150	1,1	1,9	3,7	5,1	8,0	11,7	15,6
	150...400	1,0	1,6	3,1	4,4	6,7	9,6	12,8
	>400	0,8	1,4	2,6	3,8	5,6	8,1	10,8
6...8	25...35	3,6	6,6	13,7	21,4	31,5	47,2	63,0
	35...50	3,0	5,4	10,7	15,8	25,0	37,6	50,1
	50...65	2,5	4,3	8,2	11,5	18,8	28,2	37,6
	65...90	1,9	3,4	6,2	8,8	14,0	21,0	28,0
	90...135	1,4	2,5	4,6	6,7	10,6	15,9	21,2
	135...250	1,0	2,0	3,5	5,1	8,3	12,4	16,6
	250...500	0,9	1,6	3,0	4,2	6,7	10,1	8,6
	>500	0,7	1,4	2,4	3,4	5,6	8,4	11,2
Светильники с характеристикой светораспределения Н, Д-1								
1,5...2	10...15	1,3	2,6	5,1	7,7	12,8	19,1	25,5
	15...25	1,1	2,2	4,3	6,5	10,8	16,1	21,5
	25...50	0,9	1,8	3,6	5,4	9,0	13,5	18,0
	50...150	0,9	1,7	3,3	4,9	8,2	12,2	16,3
	150...300	0,8	1,5	3,0	4,5	7,5	10,5	15,0
	>300	0,7	1,3	2,6	3,9	6,5	9,8	13,0
	2...3	10...15	1,8	3,5	7,0	10,5	17,5	26,3
15...25		1,5	2,9	5,9	8,8	14,6	22,0	29,3
25...50		1,2	2,3	4,5	6,8	11,3	16,9	22,5
50...150		0,9	1,8	3,6	5,3	8,9	13,3	17,8
150...300		0,8	1,5	3,0	4,2	7,4	11,2	14,8
>300		0,7	1,3	2,6	3,9	6,5	9,8	13,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Светильники с характеристикой светораспределения Р, М								
1,5...2	10...15	1,5	3,0	6,0	9,0	14,9	22,5	29,9
	15...25	1,3	2,6	5,2	7,8	13,1	19,6	26,1
	25...50	1,1	2,2	4,3	6,5	10,8	16,2	21,6
	50...150	0,9	1,8	3,6	5,3	8,9	13,3	17,8
	150...300	0,7	1,4	2,8	4,2	7,0	10,5	14,0
	>300	0,6	1,2	2,4	3,6	6,1	9,1	12,2
2...3	10...15	2,1	3,6	7,5	11,3	19,0	26,9	35,7
	15...25	1,7	3,4	6,8	10,1	16,9	25,3	33,8
	25...50	1,3	2,6	5,1	7,7	12,8	19,2	25,7
	50...150	1,0	2,0	4,1	6,1	10,1	15,2	20,3
	150...300	0,9	1,7	3,4	5,1	8,5	12,6	16,9
	>300	0,7	1,4	2,7	4,1	6,8	10,1	13,5
3...4	10...15	4,2	8,5	16,9	25,4	42,3	63,5	84,6
	15...20	3,2	6,3	12,5	18,8	31,3	46,9	62,6
	20...30	2,3	4,5	8,9	13,4	22,3	33,4	44,6
	30...50	1,7	3,3	6,6	9,9	16,4	24,6	32,9
	50...120	1,3	2,5	5,0	7,6	12,6	18,9	25,2
	120...300	1,0	2,0	4,0	5,9	9,9	14,9	19,8
	>300	0,7	1,4	2,9	4,3	7,2	10,8	14,4

* При значении КПД светильника в нижнюю полусферу, отличающимся от приведенного в качестве исходных данных при составлении таблицы (100 %), табличное значение удельной мощности следует увеличить на отношение приведенного в качестве исходных данных таблицы КПД к значению КПД в нижнюю полусферу принятого светильника, т. е. $100 / \eta_{\text{н}}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 21

Значения удельной мощности общего освещения светильниками
с лампами типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ (при $\rho_{\text{П}} = 50\%$, $\rho_{\text{С}} = 30\%$, $\rho_{\text{Р}} = 10\%$, $K_3 = 1,5$;
 $z = 1,15$, $E = 100$ лк и КПД светильника $\eta_{\text{Л}} = 100\%$ *

Нр, м	Площадь помещения, м ²	Удельная мощность для светильников с лампами, Вт·м ²								
		ДРЛ	ДРИ	ДНаТ	ДРЛ	ДРИ	ДНаТ	ДРЛ	ДРИ	ДНаТ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		светораспределение П, Д-1			светораспределение П, Д-2			светораспределение П, Г-1		
4...6	15...30	21,6	14,3	12,5	15,7	10,4	9,1	13,8	9,1	8,0
	30...50	13,1	8,6	7,6	10,8	7,1	6,3	8,4	5,5	4,9
	50...120	7,4	4,9	4,3	6,4	4,2	3,7	6,2	4,1	3,6
	120...300	6,1	4,0	3,5	5,4	3,6	3,1	4,9	3,2	2,8
	>300	4,1	2,7	2,4	4,1	2,7	2,4	3,9	2,6	2,3
6...8	50...65	13,3	8,8	7,7	11,5	7,6	6,7	9,1	6,0	5,3
	65...90	10,7	7,1	6,2	9,4	6,2	5,5	7,9	5,2	4,6
	90...135	8,7	5,7	5,0	7,3	4,8	4,2	6,6	4,4	3,8
	135...250	6,4	4,2	3,7	6,2	4,1	3,6	6,1	4,0	3,5
	250...500	5,9	3,9	3,4	5,4	3,6	3,1	4,9	3,2	2,8
>500	4,5	3,0	2,6	4,2	2,8	2,4	3,9	2,6	2,3	
8...12	70...100	17,6	11,6	10,2	14,2	9,4	8,2	11,4	7,5	6,6
	100...130	13,8	9,1	8,0	11,6	7,7	6,7	9,5	6,3	5,5
	130...200	9,9	6,5	5,7	9,4	6,2	5,5	7,8	5,1	4,5
	200...300	7,6	5,0	4,4	6,8	4,5	3,9	6,7	4,4	3,9
	300...600	6,7	4,4	3,9	6,3	4,2	3,7	5,8	3,8	3,4
	600...1500	5,6	3,7	3,2	5,2	3,4	3,0	4,4	2,9	2,6
>1500	4,4	2,9	2,6	4,5	3,0	2,6	3,8	2,5	2,2	
		светораспределение П, Г-2			светораспределение П, Г-3			светораспределение П, Г-4		
4...6	15...30	9,6	6,3	5,6	7,4	5,1	4,4	7,6	5,2	4,5
	30...50	6,4	4,2	3,7	5,9	4,0	3,5	5,8	3,9	3,4
	50...120	5,3	3,5	3,1	4,6	3,1	2,7	4,5	3,1	2,7
	120...300	4,3	2,8	2,5	4,1	2,8	2,4	4,0	2,7	2,4
	>300	3,5	2,3	2,0	3,6	2,4	2,1	3,5	2,4	2,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6...8	50...65	8,9	5,9	5,1	6,3	4,6	3,7	6,2	4,2	3,7
	65...90	7,4	4,9	4,3	5,7	3,9	3,4	5,6	3,8	3,3
	90...135	6,1	4,0	3,5	5,2	3,4	3,1	5,0	3,4	3,0
	135...250	5,2	3,4	3,0	4,4	3,1	2,7	4,2	2,9	2,5
	250...500	4,4	2,9	2,6	4,0	2,7	2,4	3,9	2,7	2,3
	>500	3,8	2,5	2,2	3,6	2,4	2,1	3,7	2,5	2,2
8...12	70...100	10,2	6,7	5,9	7,3	5,2	4,3	7,1	4,8	4,2
	100...130	8,3	5,5	4,8	6,2	4,2	3,7	6,2	4,2	3,7
	130...200	7,1	4,7	4,1	5,6	3,8	3,3	5,4	3,7	3,2
	200...300	6,0	4,0	3,5	5,1	3,5	3,0	4,9	3,3	2,9
	300...600	5,1	3,4	3,0	4,5	3,1	2,7	4,3	2,9	2,5
	600...1500	4,2	2,8	2,4	3,8	2,6	2,2	3,7	2,5	2,2
	>1500	3,6	2,4	2,1	3,5	2,4	2,1	3,4	2,3	2,0
		светораспределение П, К-1			светораспределение П, К-2			светораспределение П, Л		
4...6	15...30	–	–	–	–	–	–	16,6	11,0	9,6
	30...50	–	–	–	–	–	–	12,3	8,1	7,1
	50...120	–	–	–	–	–	–	8,6	5,7	5,0
	120...300	–	–	–	–	–	–	6,7	4,4	3,9
	>300	–	–	–	–	–	–	5,3	3,5	3,1
6...8	50...65	5,6	3,7	3,2	8,2	5,4	4,8	13,2	8,6	7,6
	65...90	5,1	3,4	3,0	7,4	4,9	4,3	10,9	7,2	6,4
	90...135	4,7	3,1	2,7	6,1	4,0	3,5	9,1	6,0	5,2
	135...250	4,3	2,8	2,5	5,4	3,6	3,1	7,4	4,9	4,3
	250...500	3,9	2,6	2,3	4,6	3,0	2,7	5,8	3,8	3,3
	>500	3,4	2,2	2,0	4,0	2,6	2,3	4,6	3,0	2,6
		светораспределение П, К-1			светораспределение П, К-2			светораспределение П, Л		
8...12	70...100	6,2	4,1	3,6	7,8	5,1	4,5	16,6	11,0	9,7
	100...130	5,3	3,5	3,1	6,9	4,6	4,0	13,2	8,7	7,7
	130...200	5,1	3,4	3,0	6,2	4,1	3,6	10,7	7,1	6,2
	200...300	4,6	3,0	2,7	5,6	3,7	3,2	8,7	5,8	5,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	300...600	4,4	2,9	2,6	4,8	3,2	2,8	7,1	4,6	4,1
	600...1500	3,9	2,6	2,3	4,5	3,0	2,6	5,4	3,6	3,2
	>1500	3,5	2,3	2,0	4,0	2,6	2,3	4,3	2,9	2,5

* При значении КПД светильника в нижнюю полусферу, отличающимся от приведенного в качестве исходных данных при составлении таблицы (100 %), табличное значение удельной мощности следует увеличить на отношение приведенного в качестве исходных данных таблицы КПД к значению КПД в нижнюю полусферу принятого светильника, т. е. $100 / \eta_{\text{н}}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 22

Значения удельной мощности общего освещения светильниками
с люминесцентными лампами типа ЛБ40 (при $\rho_{\text{П}} = 50\%$, $\rho_{\text{С}} = 30\%$, $\rho_{\text{Р}} = 10\%$,
 $K_3 = 1,5$; $z = 1,1$, $E = 100$ лк и КПД светильника $\eta_{\text{С}} = 100\%$ *)**

Н _р , м	Площадь помещения, м ²	Удельная мощность для светильников с люминесцентными лампами и КСС, Вт·м ²			
		Д-1	Д-2	Г-1	Г-2
2...3	10...15	8,1	6,9	5,7	4,6
	15...25	6,1	5,5	4,6	3,8
	25...50	4,8	4,1	3,7	3,4
	50...150	3,8	3,1	2,9	2,6
	150...300	3,4	2,8	2,6	2,5
	>300	2,9	2,5	2,4	2,3
3...4	10...15	11,5	9,6	9,1	8,5
	15...20	9,8	8,1	7,3	6,7
	20...30	7,7	6,9	5,5	4,2
	30...50	6,0	5,4	4,4	3,9
	50...120	4,6	3,9	3,6	3,2
	120...300	3,8	3,1	2,9	2,7
	>300	2,9	2,5	2,3	2,2
4...6	10...17	13,7	12,5	11,7	10,4
	17...25	12,0	10,1	9,5	8,1
	25...35	10,4	8,7	8,3	7,2
	35...50	8,6	7,6	6,0	4,9
	50...80	6,6	6,0	4,8	3,8
	80...150	5,3	4,2	4,0	3,3
	150...400	4,0	3,2	3,1	2,8
	>400	2,9	2,8	2,4	2,2

* При значении КПД светильника в нижнюю полусферу, отличающимся от приведенного в качестве исходных данных при составлении таблицы (100%), табличное значение удельной мощности следует увеличить на отношение приведенного в качестве исходных данных таблицы КПД к значению КПД в нижнюю полусферу принятого светильника, т. е. $100 / \eta_{\text{С}}$.

** Для люминесцентных ламп другого типа приведенное табличное значение удельной мощности целесообразно умножить на отношение светового потока (лм) лампы типа ЛБ40 (3200 лм) к световому потоку принятой лампы.

ПРИЛОЖЕНИЕ 23

Значения нормируемой освещенности для открытых осветительных установок

Таблица П23.1

Нормы освещения карьеров и открытых строительных площадок

Наименование участков и рабочих операций	Минимальная освещенность, лк	Плоскость, в которой нормируется освещенность
1. Карьеры в районе производства работ	2	На уровне земли
2. Пути постоянного движения людей	1	На уровне земли
3. Участки снятия пород экскаватором	10	Вертикальная
4. Места производства ручных работ	5	На уровне земли
5. Кладка бетонных блоков, сборка и монтаж механизмов, металлоконструкций (каркасы зданий, колонны, фермы), санитарно-технические работы	30	Горизонтальная
6. Кирпичная кладка, монтаж сборных фундаментов, крановые и такелажные работы	10	Горизонтальная
7. Земляные работы, производимые экскаватором	5	Горизонтальная
10. Основные автодороги строительных площадок	3	Горизонтальная
11. Территория котлованов и сооружений, участки разгрузки, погрузки и складирования материалов	2	Горизонтальная

Таблица П23.2

Нормируемые значения освещенности производственных территорий, улиц, дорог и площадей в городах и поселках

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк
1. Улицы и дороги местного значения с наибольшей интенсивностью движения транспорта в обоих направлениях, ед.·ч ⁻¹ : – менее 500 или одиночные автомобили	4
2. Магистральные улицы районного значения с наибольшей интенсивностью движения транспорта в обоих направлениях, единиц/час: – менее 1000	10
3. Улицы, дороги, проезды и площади сельских населенных пунктов: – главные улицы, площади общественных и торговых центров; – основные улицы в жилой застройке; – второстепенные улицы в жилой застройке, поселковые дороги.	4 4 2
4. Площадки предприятий, в точках ее минимального значения: – проезды с интенсивностью движения в обоих направлениях менее 10 ед.·ч ⁻¹ ; – пешеходные и велосипедные дорожки с интенсивностью движения в обоих направлениях менее 20 ед.·ч ⁻¹ ;	1 0,5
5. Открытые автостоянки: – на улицах; – в микрорайонах.	4 2

ПРИЛОЖЕНИЕ 24

К расчету установок прожекторного освещения методом компоновки изолуок

Угол, Θ		Значение ξ , ρ и ρ^3 при значениях $x/H\rho$													
		0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6
8	ξ	2,47	1,48	1,01	0,75	0,49	0,34	0,25	0,19	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03
	ρ	0,39	0,63	0,88	1,13	1,6	2,1	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6	6,1
	ρ^3	0,06	0,25	0,68	1,42	6,2	9,5	18	30	46	68	97	132	173	225
10	ξ	2,24	1,34	0,94	0,7	0,44	0,30	0,21	0,15	0,11	0,07	0,05	0,03	0,01	0,01
	ρ	0,42	0,67	0,91	1,16	1,6	2,1	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6	6,1
	ρ^3	0,07	0,30	0,76	1,54	6,5	9,8	18	30	48	69	98	132	174	225
12	ξ	2,05	1,25	0,87	0,63	0,40	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,01	0,01	0,03	0,05
	ρ	0,45	0,70	0,94	1,19	1,7	2,2	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6	6,1
	ρ^3	0,09	0,34	0,34	1,66	4,7	10	19	31	48	70	98	132	174	225
14	ξ	1,88	1,17	0,82	0,6	0,36	0,23	0,14	0,08	0,04	0	0,03	0,05	0,07	0,08
	ρ	0,48	0,73	0,97	1,21	1,7	2,2	2,7	3,2	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6	6,1
	ρ^3	0,11	0,38	0,91	1,77	4,9	10	19	31	48	70	98	132	173	222
16	ξ	1,73	1,09	0,76	0,56	0,32	0,19	0,10	0,04	0	0,04	0,06	0,09	0,10	0,12
	ρ	0,62	0,79	1,00	1,24	1,7	2,2	2,7	3,2	3,6	4,1	4,6	5,0	5,6	6,0
	ρ^3	0,14	0,43	0,99	1,89	5,1	11	19	32	48	70	97	130	172	220
18	ξ	1,60	1,01	0,70	0,51	0,28	0,15	0,07	0,01	0,04	0,07	0,10	0,12	0,14	0,15
	ρ	0,55	0,78	1,02	1,26	1,7	2,2	2,7	2,2	3,6	4,1	4,6	5,1	5,5	6,0
	ρ^3	0,16	0,48	1,06	2,0	5,2	11	19	32	48	69	97	130	170	216
20	ξ	1,48	0,87	0,65	0,47	0,25	0,12	0,04	0,05	0,07	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19
	ρ	0,58	0,81	1,05	1,28	1,8	2,2	2,7	3,2	3,6	4,1	4,6	5,0	5,5	6,0
	ρ^3	0,19	0,53	1,14	2,1	5,3	11	19	32	48	68	95	128	167	213
22	ξ	1,37	0,88	0,60	0,42	0,21	0,08	0,01	0,06	0,11	0,14	0,17	0,19	0,21	0,22
	ρ	0,61	0,84	1,07	1,3	1,8	2,2	2,7	3,2	3,6	4,1	4,5	5,0	5,5	5,9
	ρ^3	0,22	0,59	1,22	2,2	5,6	11	19	31	48	68	94	125	163	210

Угол, Θ	Значение ξ , ρ и ρ^3 при значениях x/H_p														
		6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0
8	ξ	0,02	0	0,01	0,02	0,08	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07
	ρ	6,6	7,1	7,6	8,1	8,6	9,0	9,5	10	10,5	11	11,5	12	13	14
	ρ^3	284	350	430	520	625	740	860	1020	1170	1350	1530	1740	2200	2700
10	ξ	0,02	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,11
	ρ	6,6	7,1	7,6	8,1	8,5	9,0	9,5	10	10,5	11	11,5	12	13	14
	ρ^3	284	350	432	520	625	735	860	1010	1160	1340	1520	1720	2180	2700
12	ξ	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14
	ρ	6,6	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10	10,5	11	11,5	11,9	12,9	13,9
	ρ^3	283	350	425	515	620	730	850	995	1150	1320	1500	1700	2150	2700
14	ξ	0,09	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17		
	ρ	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	9,9	10,4	10,9	11,4	11,9		
	ρ^3	280	345	425	512	610	720	845	980	1140	1300	1480	1670		
16	ξ	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20			
	ρ	6,5	7,0	7,5	8,0	8,4	8,9	9,4	9,9	10,4	10,8	11,3			
	ρ^3	227	343	415	500	600	710	830	960	1110	1280	1450			
18	ξ	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23				
	ρ	6,5	7,0	7,4	7,9	8,4	8,9	9,3	9,8	10,3	10,8				
	ρ^3	272	340	410	495	590	700	810	940	1080	1240				
20	ξ	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,24	0,25	0,26	0,26					
	ρ	6,4	6,9	7,4	7,9	8,3	8,8	9,3	9,7	10,2					
	ρ^3	267	330	400	485	580	680	800	920	1060					
22	ξ	0,24	0,25	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29	0,29						
	ρ	6,4	0,9	7,3	7,8	8,3	8,7	9,2	9,6						
	ρ^3	260	320	390	470	560	680	770	890						

ПРИЛОЖЕНИЕ 25

Рекомендуемые марки проводов и кабелей для различных видов электропроводки, способов прокладки и условий окружающей среды

Вид электропроводки и способ прокладки проводов и кабелей	Категория помещения по условиям окружающей среды					
	Сухое	Пыльное	Влажное	Сырое	Особо сырое	Особо сырое с химически активной средой
1	2	3	4	5	6	7
Открытая по несгораемым и трудносгораемым поверхностям						
Непосредственно	АПРН, АПРВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВРГ, АПРН, АВВГ, АПВГ	ПРН, АПРВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ, АППР	АППР, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ
В виниловых и стальных трубах	АПВ, АПР, АПРН, АПРВ	АПВ, АПР, АПРТО	АПР, АПРН, АПРТО	АПВ, АПР, АПРН, АПРТО	АПВ, АПРН, АПРТО	АПВ, АПРТО, АПРН
В коробах и на лотках	АПРВ, АПРН, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРН, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВТВ, АПРН, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРН, АВТВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВТВ, АВТВУ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ
На тросах и тросовыми проводами	АПРН, АПРВ, АВТВ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРИ, АВТВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АРТ, АВТВ, АВТВУ, АВРГ, АВВГ, АНРГ	АПРН, АВТВ, АПРВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ	АПРВ, АВТВ, АПРН, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВТВ, АВРГ, АВТВУ, АНРГ, АВВГ, АПВГ
В гибких металлических рукавах	АПВ, АПР, АПРВ, АПРВ, АППВС	АПВ, АПР, АПРТО, АППВС	АПВ, АПРН, АППВС, АПРТО	АПВ, АПРН, АППВС, АПРТО	АПВ, АПРН, АППВС, АПРТО	АПВ, АПРН, АПРТО

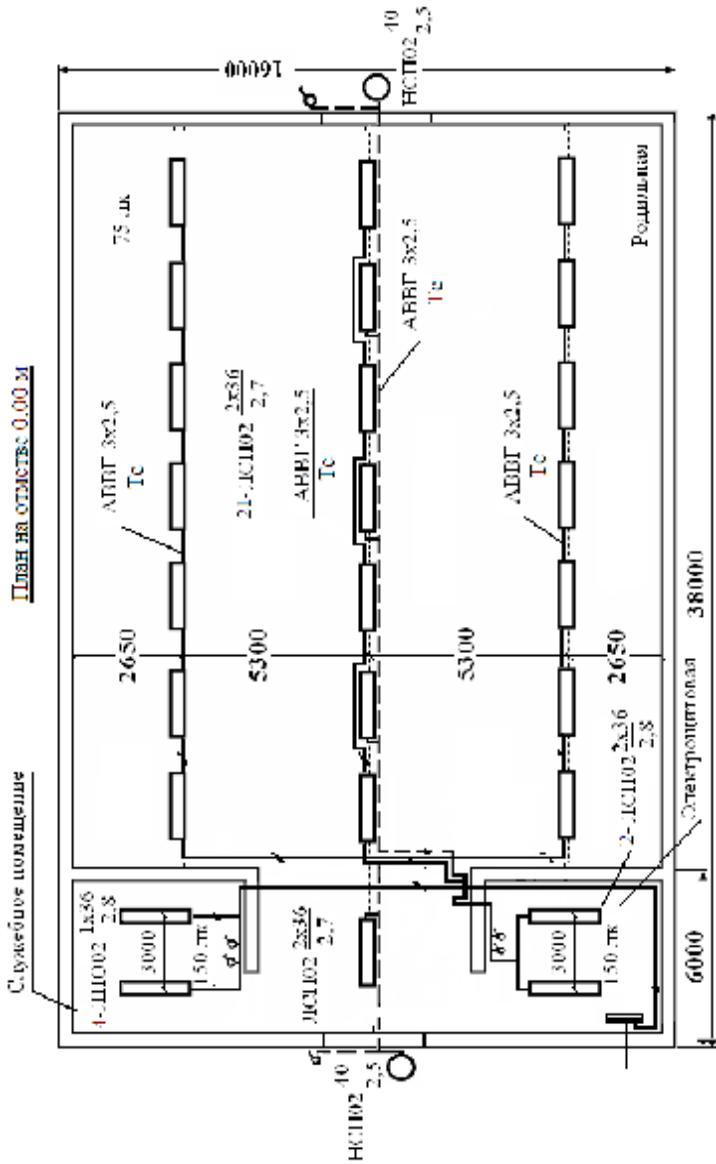
1	2	3	4	5	6	7
Открытая по сгораемым поверхностям						
Непосредственно	АПРВ, АПВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРИ, АПВ, АВРГ, АВРГ, АПВГ	АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРН, АПРВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ
В винилпластовых и стальных трубах	АПВ, АПР, АППВС, АПРН, АПРТО, АПРВ	АПВ, АПР, АПРТО, АППВС, АПРН	АПВ, АПРТО, АПРН, АППВС	АПВ, АПРВ, АПРТО, АПРН	АПВ, АПРТО, АПРН	АПВ, АПРТО
В коробах и на лотках	АПРВ, АПРН, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРН, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВАГ	АПРН, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРН, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРН, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ
На тросах и тросовыми проводами	АПРВ, АВТВ, АВВГ, АВРГ, АНРГ, АПВГ	АПРН, АВТВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРН, АВТВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ, АПВГ	АПРН, АВТВ, АВРГ, АВВГ, АНРГ, АПВГ	АПРН, АВТВ, АВРГ, АВВГ, АНРГ, АПВГ	АВТВ, АВРГ, АВТВУ, АВВГ, АНРГ, АПВГ
В гибких металлических рукавах	АПВ, АПРН, АПРТО	–	АПВ, АПРН, АПРТО	АПВ, АПРН, АПРТО	АПВ, АПРН, АПРТО	АПВ, АПРН, АПРТО
Скрытая по несгораемым и трудносгораемым поверхностям						
Под штукатуркой	АППВС, АППВ	АППВ, АППВС	АППВ, АППВС	АППВ, АППВС	АППВС	–
В каналах строительных конструкций	АПРВ, АППВС	АПРВ, АПРТО, АППВС	АПРВ, АПРТО, АППВС	АППВС	АППВС	–
В винилпластовых и стальных трубах	АПРН, АПРВ, АПРТО, АППВС	АПРН, АПРВ, АПРТО, АППВС	АПРН, АПРВ, АПРТО, АППВС	АППВС	АППВС	–

1	2	3	4	5	6	7
В полиэтиленовых трубах (только по несгораемым поверхностям)	АПРТО, АППВС, АПРВ	АПРВ, АППВС, АПРТО	АПРВ, АПРТО, АППВС	АПРВ, АПРТО, АППВС	АПРВ, АПРТО, АППВС	АПРВ, АПРТО, АППВС
Скрытая по сгораемым поверхностям:						
Под штукатуркой	АППВС	АППВС	АППВС	АППВС	ППВС	–
В виниловых трубах	ПРВ, АПРТО, АППВС, АПРН	АПРВ, АПРТО, АППВС, АПРН	АПРВ, АПРТО, АППВС, АПРН	АПРВ, АПРТО, АПРН, АППВС	АПРВ, АПРТО, АППВС, АПРН	АПРВ, АПРТО, АППВС, АПРН
В стальных трубах	АПРВ, АПРТО, АППВС, АПРН	АПРВ, АПРТО, АППВС, АПРН	АПРТО, АПРВ, АППВС, АПРН	АППВС, АПРТО, АПРН	АППВС, АПРН, АПРТО	–

Примечание. Для прокладки проводов в трубах используются преимущественно пластмассовые трубы и лишь при невозможности их прокладки – стальные.

ПРИЛОЖЕНИЕ 26

План электрической сети осветительной установки родильной



ПРИЛОЖЕНИЕ 27

Типовые объемы работ по техническому обслуживанию и ремонту осветительных установок

Светотехническое оборудование	Состав работ по техническому обслуживанию и ремонту
Осветительные электропроводки	<p style="text-align: center;"><i>Техническое обслуживание</i></p> <p>Очистить электропроводку от пыли и грязи. Проверить состояние крепления проводки, закрепить при необходимости отдельные участки. Проверить состояние выключателей и розеток, ответвительных коробок, замеченные дефекты устранить. Проверить состояние соединения проводов в ответвительных коробках. Места проводки с поврежденной изоляцией усилить наложением нескольких слоев изолянта. Проверить состояние заземления металлических защитных конструкций.</p> <p style="text-align: center;"><i>Текущий ремонт</i></p> <p>Выполнить операции технического обслуживания. Заменить отдельные дефектные участки электропроводки, неисправные выключатели и розетки. Проверить сопротивление изоляции проводки мегомметром</p>
Осветительные щитки	<p style="text-align: center;"><i>Техническое обслуживание</i></p> <p>Очистить щиток от пыли и грязи. Проверить состояние контактов между шинами щитка, кабеля и провода. Проверить состояние коммутационных аппаратов предохранителей, соответствие токов их плавких вставок расчетным значениям, состояние заземления щитка.</p> <p style="text-align: center;"><i>Текущий ремонт</i></p> <p>Выполнить операции технического обслуживания. Проверить состояние изоляционных деталей щитка, дефектные детали заменить. Поменять обгоревшие шины, коммутационные аппараты и предохранители. Окрасить кожух щитка, восстановить предупредительные надписи</p>

Светотехническое оборудование	Состав работ по техническому обслуживанию и ремонту
Светильники с лампами накаливания	<p style="text-align: center;"><i>Техническое обслуживание</i></p> <p>Измерить освещенность в контрольных точках. Очистить светильник от пыли и грязи, проверить его работоспособность, заменить в нем перегоревшие лампы. Проверить соответствие лампы типу светильника. Заменить защитные стекла, имеющие трещины и сколы. Снять корпус патрона и проверить состояние его частей. Зачистить окислившиеся или подгоревшие контакты и собрать патрон. Подтянуть ослабевшие зажимы. Проверить состояние изоляции проводов в месте ввода в светильник, а также надежность присоединения нулевого провода к зажиму на корпусе светильника.</p> <p style="text-align: center;"><i>Текущий ремонт</i></p> <p>Очистить светильник от пыли и грязи, разобрать его, осмотрев все детали на наличие сколов и трещин. Дефектные детали отремонтировать или заменить. Выправить вмятины и погнутости деталей корпуса. Очистить детали от ржавчины. Покрыть места с поврежденной окраской грунтовкой и просушить. Окрасить светильник, кроме отражателя и экранирующей решетки, подходящей по цвету эмалью и высушить. Окрасить отражатель (эмалированный) и экранирующую решетку белой эмалью. Собрать схему светильника. Проверить сопротивление изоляции проводов. Проверить работоспособность ламп и установить их в светильник. Подключить светильник к электрической сети и проверить его работоспособность</p>

Светотехническое оборудование	Состав работ по техническому обслуживанию и ремонту
Светильники с газоразрядными лампами	<p style="text-align: center;"><i>Техническое обслуживание</i></p> <p>Очистить светильник от пыли и грязи. Проверить его работоспособность, заменить перегоревшие лампы, проверить состояние рассеивателей. Снять и разобрать патроны ламп и стартеров, зачистить окислившиеся или подгоревшие контакты и собрать патроны. Проверить надежность крепления к корпусу светильника ПРА, конденсаторов, патронов, клеммных коробок. Проверить состояние изоляции проводов в месте ввода в светильник, а также надежность присоединения нулевого провода к зажиму на корпусе светильника. Подтянуть ослабевшие зажимы.</p> <p style="text-align: center;"><i>Текущий ремонт</i></p> <p>Очистить светильник от пыли и грязи. Вывернуть болты крепления защитного стекла (рассеивателя) и снять защитное стекло (рассеиватель или экранирующую решетку). Разобрать светильник, осмотреть все детали. Патроны ламп, стартеров и соединительные колодки не должны иметь сколов и трещин на корпусах, все крепежные детали (резьбовые) не должны иметь срыва ниток, на контактных поверхностях не должно быть следов окисления. Дефектные детали отремонтировать или заменить. Проверить работоспособность ПРА, при неисправности или повышенном уровне шума заменить. Проверить исправность конденсаторов и резисторов. Выправить вмятины и погнутости деталей корпуса. Очистить детали корпуса от ржавчины. Покрыть места с поврежденной окраской грунтовкой и просушить. Окрасить отражатель (эмалированный) и экранирующую решетку белой эмалью.</p>

Светотехническое оборудование	Состав работ по техническому обслуживанию и ремонту
	Собрать схему светильника, проверить сопротивление изоляции проводов. Проверить работоспособность ламп и стартеров и установить их в светильник (облучатель). Подключить светильник сети и проверить его работоспособность. Установить экранирующую или защитную решетку (защитное стекло, рассеиватель)

ПРИЛОЖЕНИЕ 28

Возможные неисправности в светильниках, их вероятные причины
и пути устранения

Вид неисправности	Возможные причины появления	Рекомендуемые пути устранения
<i>При люминесцентных лампах</i>		
Лампа не зажигается. По концам лампы нет свечения	Прервана цепь тока (плохой контакт или обрыв в цепи ПРА или ламподержателя); недостаточное напряжение сети; неисправен стартер; неисправна лампа; ошибки в схеме соединений; неисправен ПРА	Проверка индикатором наличия напряжения на вводах в лампо- и стартеродержатели; проверка вольтметром напряжения сети; замена стартера или лампы; проверка всех соединений в схеме. Если обрыва проводов и нарушения контактных соединений и ошибок в схеме не обнаружено, очевидно, неисправен ПРА и необходима его замена
Лампа мигает, но не зажигается, имеется свечение только на одном конце лампы	Ошибки в схеме; замыкание в цепи или ламподержателя, закорачивающее лампу (проверяется перестановкой лампы таким образом, чтобы ее концы поменялись патронами). Замыкание выводов в самой лампе на том конце, где нет свечения; неисправность стартера; низкая температура окружающего воздуха; недостаточное напряжение в сети (контроль производится вольтметром)	Проверить схему соединений, замена ламподержателя, замена лампы, замена стартера или ПРА. При низкой температуре окружающей среды лампу на некоторое время поместить в теплое помещение и затем снова быстро установить в светильник и включить. При длительном спаде напряжения в сети использовать повышающий трансформатор

Вид неисправности	Возможные причины появления	Рекомендуемые пути устранения
Лампа не мигает и не зажигается. Свечение имеется на обоих концах	Ошибки в схеме; неисправен стартер (пробой конденсатора для подавления радиопомех или замыкание контактов стартера); потеря эмиссии электродов лампы, низкая температура или высокая влажность окружающей среды	Проверка вольтметром напряжения сети; замена стартера; проверка напряжения на катодах и на зажимах лампы, проверка схемы
Лампа мигает и не зажигается	Ошибки в схеме; неисправный стартер; низкое напряжение в сети; потеря эмиссии электродов лампы	Проверка напряжения сети; замена стартера; замена лампы. Если стартер работает нормально, то замена ПРА
В лампе при включении появляется быстро исчезающее оранжевое свечение. Лампа не зажигается. Лампа попеременно зажигается и гаснет	Неисправна лампа. Неисправна лампа; неисправен стартер	Замена лампы. Замена лампы; замена стартера
Лампа зажигается, но ее яркость заметно ниже яркости других ламп	Неисправен ПРА (мал рабочий ток); неисправна лампа (в лампе мало ртути); недостаточное напряжение сети	Измерение рабочего тока аппарата. Если он меньше нормального, заменить ПРА; измерение напряжения сети. При исправном ПРА и нормальном напряжении неисправна лампа; замена лампы

Вид неисправности	Возможные причины появления	Рекомендуемые пути устранения
Лампа зажигается, при ее горении начинается вращение разрядного шнура и проявляются перемещающиеся спиральные и змеевидные полосы света, зоны неравномерной яркости	Неисправна лампа; сильные колебания напряжения сети; неплотный, колеблющийся контакт; ПРА из-за неисправности дает большой рабочий ток через лампу; лампу охватывают магнитные силовые линии рассеивания ПРА	Замена лампы; проверка напряжения сети; проверка контактных соединений; замена ПРА или установка экранов из листовой стали
При включении концы лампы чернеют и лампа больше не зажигается, при последующей проверке обнаруживается сгорание нитей накала	Неисправность лампы – загазованность. Неисправен ПРА, подающий на лампу повышенное напряжение	Замена лампы. Испытание ПРА и, если необходимо, его замена
При включении наблюдается яркая вспышка у концов лампы, после чего лампа не зажигается и электроды не накаляются	Короткое замыкание в обмотках ПРА. Нарушение изоляции проводов схемы. Неисправна лампа	Мегомметром проверяют сопротивление изоляции проводов по отношению к корпусу светильника. Если сопротивление в норме, то проверяют лампу на зажигание. Если лампа зажигается нормально, то меняют ПРА

Вид неисправности	Возможные причины появления	Рекомендуемые пути устранения
<i>При лампах ДРЛ, ДРИ, ДНаТ</i>		
Лампа не зажигается и не горит	Неисправность схемы. Отсутствует напряжение питания. Неисправно устройство зажигания (ИЗУ или УИЗУ). Неисправна лампа	Проверить напряжение сети и схему включения. Заменить ИЗУ или УИЗУ. Заменить лампу

Репозиторий БГАТУ

Учебное издание

СТЕПАНЦОВ Вячеслав Павлович

СВЕТОТЕХНИКА

Учебное пособие

Ответственный за выпуск *П. В. Кардашов*

Редактор *Д. О. Бабакова*

Корректор *Д. О. Бабакова*

Компьютерная верстка *Д. О. Бабаковой*

Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 9.10.2017 г. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 25,34. Уч.-изд. л. 19,81. Тираж 96 экз. Заказ 53.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

«Белорусский государственный аграрный технический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,

распространителя печатных изданий

№ 1/359 от 09.06.2014.

№ 2/151 от 11.06.2014.

Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.