

А.Н. Бобко, С.П. Инютин

Энергетический и световой аудит в зданиях, сооружениях и уличном освещении

Электротехника



А.Н. Бабко, С.П. Инютин

**Энергетический и световой аудит
в зданиях, сооружениях
и уличном освещении**



Учебное пособие

Астана
2014

УДК 628.9
ББК 31.294.9
Э653

Учебное пособие подготовлено: **Бабко А.Н., Инютин С.П.**

Рецензенты:

Дворников В.А., к.ф-м.н., доцент, Алматинский университет энергетики и связи
Бакенов К.А., к.т.н., доцент, Алматинский университет энергетики и связи

*Мнение авторов необязательно отражает точку зрения ПРООН,
других учреждений системы ООН и организаций, сотрудниками которых они являются.*

Э653 Энергетический и световой аудит в зданиях, сооружениях и уличном освещении: учебное пособие /
Бабко А.Н., Инютин С.П.; – Астана: Издательство, 2014. 174 с.: с ил.

ISBN

В учебном пособии проведен обзор, анализ в сфере энергосбережения РК и показана необходимость энергетического аудита для объектов потребляющих различные виды энергии. Рассматривается методика проведения энергетического и светового аудита. Изложены основные положения электрического освещения, энергетические, световые величины и методы расчета электрического освещения. Предлагается методика оценки энергетической эффективности источников излучения, рассматриваются способы экономии электрической энергии в осветительных установках, вопросы энергетического аудита наружного освещения. Приведены примеры энергоэффективных мероприятий. В приложениях, более подробно, рассматриваются расчеты энергетических, световых величин, электрического освещения, светодиодные системы освещения и осветительные приборы. Приводится приборное обеспечение, программные средства, а также учебные планы и программы подготовки энергетических аудиторов, предлагаемые в качестве типовых планов и программ.

Учебное пособие предназначено для преподавателей и слушателей центров энергосбережения и распространения знаний (ЦЭРЗ), студентов соответствующих специальностей ВУЗов и колледжей, а также специалистов связанных с проектированием, эксплуатацией, обслуживанием систем освещения и реализующих энергосберегающие технологии.

УДК 628.9
ББК 31.294.9

© ПРООН, 2014 г.
© Издат. 2014

Термины и определения

Адаптация	– способность глаза изменять чувствительность при изменении условий освещения.
Аккомодация	– способность глаза приспособливаться к ясному видению предметов, находящихся от него на различных расстояниях.
Аварийное освещение	– освещение для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения.
Аппарат защиты	– аппарат, автоматически отключающий защищаемую электрическую цепь при коротких замыканиях (к.з.), перегрузках и других ненормальных режимах.
Автоматизированная система управления	(сокращённо АСУ) – комплекс аппаратных и программных средств, предназначенный для управления различными процессами в рамках технологического процесса, производства, предприятия.
Глухозаземленная нейтраль	– нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление (например, через трансформаторы тока).
Газоразрядная лампа	– источник света, излучающий энергию в видимом диапазоне за счет электрического разряда в газах.
ДРЛ (Дуговая Ртутная Люминесцентная)	– принятое в светотехнике обозначение ГЛВД, в целях повышения световой эффективности и для исправления цветности излучения, используется излучение люминофора, нанесённого на внутреннюю поверхность внешней колбы.
Естественное освещение	– освещение помещений светом небосвода (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях.
Заземляющее устройство	- совокупность заземлителя и заземляющих проводников.
Защитное заземление	- заземление, выполняемое с целью обеспечения электробезопасности.

Занулением	– в электроустановках до 1 кВ, называется преднамеренное соединение частей электроустановки, нормально не находящихся под напряжением, с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с заземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.
Заземляющий проводник	– проводник, соединяющий заземляемые части электроустановки с заземлителем.
Защитный проводник	– проводник, предназначенный для целей электробезопасности.
Изолированная нейтраль	– нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты и подобные им устройства, имеющие большое сопротивление.
Инструментальное обследование	– измерение и регистрация характеристик энергопотребления с помощью стационарных и портативных приборов.
Качество энергии	– система показателей, устанавливаемая государственными стандартами или нормативными документами, подтверждающая потребительские свойства и пригодность энергии для потребления.
Коэффициент замыкания на землю	– в трехфазной электрической сети определяется отношением разности потенциалов между неповрежденной фазой и землей в точке замыкания на землю другой или двух других фаз к разности потенциалов между фазой и землей в этой точке, до замыкания.
Коэффициент полезного действия светильника	– отношение светового потока светильника, к суммарному световому потоку источников света установленных в нем (измеренному в стандартных условиях вне светильника).
Коэффициенты, характеризующие равномерность освещения	коэффициент минимальной освещенности (E_{cp} / E_{min}). коэффициент неравномерности (E_{max} / E_{min}). отношение минимальной освещенности к средней освещенности поверхности (E_{min} / E_{cp}). отношение минимальной освещенности к максимальной и обратное значение этих отношений. В РК применяется МСН, где нормируется минимальная освещенность.

Коэффициент естественной освещенности (к.е.о.)	– отношение естественной освещенности в некоторой точке заданной плоскости, внутри помещения, созданное излучением неба, (непосредственно или после отражений) к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности под открытым полностью небосводом. Участие прямого солнечного света в создании той и другой освещенности исключается.
Кабельная линия	– линия для передачи электроэнергии или отдельных импульсов ее, состоящая из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и кольцевыми муфтами и крепежными деталями, а для маслonaполненных линий, кроме того, с подпитывающими аппаратами и системой сигнализации давления масла.
Люминесцентная лампа	– разрядный источник света низкого давления, в которых ультрафиолетовое излучение ртутного разряда преобразуется люминофором в длинноволновое излучение.
Металлогалогенная лампа (МГЛ)	– один из видов газоразрядных ламп (ГЛВД) высокого давления. Отличается от других ГЛВД тем, что для коррекции спектральной характеристики дугового разряда в парах ртути в горелку МГЛ дозируются специальные излучающие добавки (ИД), представляющие собой галогениды некоторых металлов.
Нулевой защитный проводник (РЕ)	– защитный проводник, в электроустановках напряжением до 1 кВ, предназначенный для присоединения открытых проводящих частей к глухозаземленной нейтрали источника питания.
Нулевой рабочий проводник (N)	– проводник, используемый для питания электроприемников напряжением до 1 кВ, соединенный с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной точкой источника в сетях постоянного тока.
Нормальный режим ВЛ	– состояние ВЛ при необорванных проводах, в нормальном режиме.
Напряжение прикосновения	– напряжение, имеющее место при одновременном прикосновении человека к двум точкам проводников или проводящих частей, в том числе при повреждении изоляции.

Номинальное напряжение	– напряжение, на которое рассчитана электроустановка или ее часть.
Осветительные электроустановки	– электроустановки, предназначенные для создания искусственного освещения.
Осветительный прибор	– комплект, состоящий из осветительной арматуры и источника света.
Облучатель	– комплект, состоящий из осветительной арматуры и источника ультрафиолетового или инфракрасного излучений (чаще всего специальная арматура, в том числе для совмещенных источников излучения).
Объект различения	– рассматриваемый предмет, отдельная его часть или дефект, которые требуется различать в процессе работы
Освещённость	– световая величина, равная отношению светового потока, падающего на малый участок поверхности, к его площади.
Потенциал энергосбережения	– реальный объем энергии, который возможно сэкономить при полном использовании имеющихся ресурсов с помощью проведения комплекса специальных мер.
Пржектор	– осветительный прибор дальнего действия
Приборы учета	– приборы, которые выполняют одну или несколько функций: измерение, накопление, хранение, отображение информации о количестве тепловой или электрической энергии, массе (объеме), температуре, давлении теплоносителя и времени работы приборов.
Разработка рекомендаций по энергосбережению	– обоснование организационных, технических и технологических усовершенствований, направленных на повышение энергоэффективности объекта, с обязательной оценкой возможностей их реализации, предполагаемых затрат и прогнозируемого эффекта в физическом и стоимостном выражении.
Расчетная мощность	– установленная мощность с учетом коэффициента одновременности по данному объекту ($P_p = P_{уст} \cdot K_{од}$).
Рабочая поверхность	– поверхность, на которой производится работа и на которой нормируется или измеряется освещенность.

Совмещенный нулевой рабочий и нулевой защитный проводник (PEN)	– проводник, сочетающий функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников.
Светильник	– осветительный прибор ближнего действия, перераспределяющий световой поток источника внутри значительных телесных углов и обеспечивающий угловую концентрацию светового потока.
Светодиодная лампа	– осветительный прибор с использованием светодиода в качестве излучателя.
Спектроколориметр	– прибор, предназначенный для измерения координат цветности и цветовой температуры.
Сверхток	– ток, значение которого превосходит номинальный ток электрической цепи, или любой ток, превышающий номинальный.
Система управления	– систематизированный (строго определенный) набор средств для сбора сведений о подконтрольном объекте и средств воздействия на его поведение с целью достижения определённых целей.
Совмещенное освещение	– освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным.
Строительные нормы и правила (СНиП)	– совокупность принятых органами исполнительной власти нормативных актов технического, экономического и правового характера, регламентирующих осуществление градостроительной деятельности, а также инженерных изысканий, архитектурно-строительного проектирования, строительства
Ток короткого замыкания	– сверхток, обусловленный повреждением с пренебрежимо малым полным сопротивлением между точками, находящимися под разными потенциалами в нормальном режиме.
Ток перегрузки	– сверхток в электрической цепи электроустановки при отсутствии электрических повреждений
Ток повреждения	– ток, появившийся, в результате повреждения или перекрытия изоляции.
Ток утечки	– ток, который протекает в землю или на сторонние проводящие части в электрически поврежденной цепи.

Топливо-энергетические ресурсы (ТЭР)	– совокупность всех природных и преобразованных видов топлива и энергии, используемых в народном хозяйстве.
Установленная мощность	– сумма номинальных мощностей всех токоприемников данного объекта.
Условная рабочая поверхность	– условно принятая горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0,8 м от пола.
Фон	– поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различия, на которой он рассматривается
Цвет	– качественная субъективная характеристика электромагнитного излучения оптического диапазона, определяемая на основании возникающего физиологического зрительного ощущения и зависящая от ряда физических, физиологических и психологических факторов.
Цветопередача	– общее понятие, характеризующее влияние спектрального состава источника света на зрительное восприятие цветных объектов, сознательно или бессознательно сравнивается с восприятием тех же объектов, освещенных стандартным источником света.
Электроустановки	– совокупность машин аппаратов, линий и вспомогательного оборудования предназначенных для производства, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования её в другой вид энергии.
Электрооборудование	– технические средства предназначенные для производства, передачи, преобразования, распределения и потребления электрической энергии, (например: машины, трансформаторы, аппараты, измерительные приборы, устройства защиты, электроприемники).
Электропомещения	– помещения или части помещений, отгороженные сетками, в которых расположены электроустановки, доступные только для квалифицированного обслуживающего персонала.
Электрическая цепь	– совокупность электрооборудования, соединенного проводами и кабелями, через которые может протекать электрический ток.
Электропроводка	– совокупность проводов и кабелей с относящимся к ним креплениями, поддерживающими защитными конструкциями и деталями, установленными согласно ПУЭ.

Энергоэффективность	– эффективное (рациональное) использование энергетических ресурсов — достижение экономически оправданной эффективности использования технико-экономических расчетов при существующем уровне развития техники и технологии и соблюдении требований к охране окружающей среды.
Энергосбережение	– реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер направленных на эффективное использование топливно-энергетических ресурсов и применение возобновляемых источников энергии.
Энергоёмкость	– величина потребления энергии и (или) топлива на основные и вспомогательные технологические процессы изготовления продукции, выполнение работ, оказание услуг на базе заданной технологической системы.
Эффективное использование энергетических ресурсов	– достижение экономически оправданной эффективности использования энергетических ресурсов при существующем уровне развития техники и технологий и соблюдении требований к охране окружающей природной среды.
Энергетические параметры	– признаки изделий и технологий, количественно характеризующие их свойства, связанные с потреблением ими топлива, тепловой и/или электрической энергии в процессе эксплуатации.
Энергоснабжающая организация	– предприятие или организация, являющееся юридическим лицом и имеющее в собственности или в хозяйственном ведении установки, генерирующие электрическую и (или) тепловую энергию, электрические и (или) тепловые сети и обеспечивающее на договорной основе передачу электрической и (или) тепловой энергии абонентам.
Энергетическое обследование	– обследование потребителей топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) с целью установления показателей эффективности их использования, и подготовки экономически обоснованных мер по их повышению.
Электромагнитный спектр	– совокупность всех диапазонов частот электромагнитного излучения.
Электронный пускорегулирующий аппарат (ЭПРА)	– электронное устройство, осуществляющее пуск и поддержание рабочего режима газоразрядных осветительных ламп.

Обозначения и сокращения

ПРООН	– Программа развития Организации Объединенных Наций.
ГЭФ	– Глобальный экологический фонд.
ЖКХ	– Жилищное-коммунальное хозяйство.
СНиП	– Строительные нормы и правила.
СН	– Строительные нормы проектирования.
СанПиН	– Санитарные правила и нормы.
ВВП	– Внутренний валовый продукт.
ВИЭ	– Возобновляемые источники энергии.
КСС	– Кривая силы света.
ДРЛ	– Дуговая Ртутная Люминесцентная лампа.
ЕС	– Европейский союз.
МГЛ	– Металлогалогенная лампа, один из видов газоразрядных ламп высокого давления.
МИНТ	– Министерство индустрии и новых технологий.
МЭА	– Международное энергетическое агенство.
ОП	– Осветительный прибор.
ОУ	– Осветительная установка.
ТЭР	– Топливо-энергетические ресурсы.
ИС	– Источники света.
ПРА	– Пускорегулирующая аппаратура.

ЭПРА	– Электрoнный пускорегулирующий аппарат.
СД	– Светодиод, полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока в прямом направлении.
СИД	– Светоизлучающий диод.
Кд	– Кандéла – единица силы света.
ЛМ	– Люмен, единица измерения светового потока.
ЛК	– Люкс, единица измерения освещенности.
ЛЛ	– Люминесцентная лампа.
ЛН	– Лампа накаливания.
КЛЛ	– Компактная люминесцентная лампа.
BREEAM	– (BRE Environmental Assessment Method), метод оценки экологической эффективности зданий.
LED	– Light Emitting Diodes (англ.) тоже, что и СД.
LEED	– (The Leadership in Energy & Environmental Design) руководство в энергетическом экологическом проектировании.
ЦЭРЗ	– Центр энергосбережения и распространения знаний.
Т.Н.Э.	– Тонна нефтяного эквивалента.
У.Т.	– Условное топливо.
Т.У.Т.	– тонна условного топлива.
ЭЭ	– Энергетическая эффективность.

Содержание

Термины и определения	
Список принятых сокращений	11
Введение	13
1 Обзор и анализ состояния в сфере энергосбережения РК	15
2 Программы подготовки энергетических аудиторов в ЦЭРЗ	22
2.1 Основные требования к подготовке энергоаудиторов	23
2.2 Общие сведения по электрическому освещению	24
3 Основные понятия и энергетические величины оптического излучения	26
4 Световые величины и единицы	34
5 Расчет электрического освещения	38
5.1 Нормирование освещения	38
6 Энергетический аудит	43
6.1 Методика проведения энергоаудита электрического освещения зданий и сооружений	48
6.2 Световой аудит электрического освещения	49
6.3 Методика определения энергетической эффективности источников излучения	52
6.4 Способы экономии электроэнергии на освещении	55
6.5 Методика определения энергоэффективности электрического освещения	57
6.6 Методика энергетического обследования систем электрического освещения	67
7 Энергетический аудит наружного освещения	70
7.1 Осветительные приборы для наружного освещения	73
7.2 Нормирование освещенности открытых пространств	75
7.3 Порядок проведения энергоаудита наружного освещения	77
8 Примеры энергоэффективного освещения	78
Список литературы	90
Приложение 1. Расчет энергетических и световых величин	92
Приложение 2. Приборы обеспечения энергоаудита	125
Приложение 3. Программные средства для расчета электрического освещения	126
Приложение 4. Типовые учебные планы программы	144
Приложение 5. Характеристики некоторых источников света	167

Введение

Реализация энергоэффективной политики является одним из основных инструментов модернизации промышленности, жилищно-коммунального хозяйства, транспортного сектора и других секторов экономики. Успешная политика энергосбережения и повышения энергоэффективности обеспечивает энергетическую и экологическую безопасность страны. Кроме того, обеспечение повышения энергоэффективности стимулирует внедрение новых инновационных технологий и решений, что в свою очередь стимулирует активное взаимодействие развития науки и трансфера технологий [5] .

В Республике Казахстан, вопросам энергосбережения и энергетической эффективности уделяется значительное внимание, в том числе на государственном уровне. Реализация политики энергетической эффективности является одним из основных инструментов индустриально-инновационного развития, улучшения состояния экономики и обеспечения энергетической безопасности государства [3,4].

Энергосбережение отнесено к стратегическим задачам государства и для достижения поставленных целей необходимо повышение энергетической эффективности во всех регионах и стране в целом [5].

Обязательным условием реализации государственной политики в области энергетической эффективности и энергосбережения является законодательная база. Так, в ноябре 2011 года Правительством Республики утвержден «Комплексный план повышения энергоэффективности РК на 2012-2015 годы», в 2012 году Главой государства подписаны законы РК «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» и «О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты РК по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности» [6]. Постановлением Правительства Республики Казахстан от 29 августа 2013 года N 904 утверждена Программа «Энергосбережение – 2020» [5].

В рамках проводимых работ проекта Правительства Республики Казахстан, Программы развития ООН и Глобального Экологического Фонда «Продвижение энергоэффективного освещения в Республике Казахстан» проведено ряд исследований в области энергоэффективности и энергосбережения, подготовлены учебные пособия.

Все выше приведенные документы дают возможность и основание для перехода к энергетически эффективному электрическому освещению в различных отраслях Республики Казахстан. Доля потребления электрической энергии на искусственное освещение довольно значительна и по некоторым данным, в том числе и зарубежным, находится в пределах 10-15% от общего электропотребления.

Электрическое освещение входит в состав электроэнергетики, которая является базовой отраслью производства и выполняет одну из главных задач в экономической сфере любого государства. Разработаны соответствующие программы по развитию электроэнергетики Республики Казахстан [1,2,3,7]. В обла-

сти энергосбережения поставлена задача по снижению энергоемкости внутреннего валового продукта на 10% к 2015 году и 25% к 2020 году [2,7].

Кроме этого, Президентом Республики Казахстан от 23 января 2013 года Правительству Республики Казахстан поручено обеспечить экономию потребления электрической энергии, путем ежегодного 10-процентного снижения энергоемкости экономики, в течение 2013-2015 годов [5].

Наиболее энергоемкой отраслью производства, в Казахстане, является промышленность – доля потребления энергии составляет примерно 70% от общей по республике, расходы на освещение промышленных предприятий достигают 10% в балансе их электропотребления, и требуют значительных затрат, особенно это актуально, так как постоянно повышаются тарифы на электроэнергию [5].

Жилищно-коммунальный сектор потребляет 13,5% электрической энергии. По некоторым данным, общее годовое потребление электрической энергии в жилищном секторе составляет 8319,6 млн. кВт/ч., а 40-60% в энергопотреблении зданий отводится на электрическое освещение [15]. Удельное потребление энергии в жилом секторе республики в 2-3 раза выше, чем в странах западной Европы, что указывает на значительный потенциал энергосбережения.

Для успешного внедрения энергетически эффективного освещения в Республике Казахстан, в рамках общей программы энергосбережения и энергетической эффективности, необходимы мероприятия по устранению законодательных, информационных и технических барьеров [8]. Требуется решить следующие задачи: совершенствование светотехнических нормативов, правил и стандартов; усовершенствование системы контроля с целью соблюдения норм, правил, стандартов и принятие единообразной системы оценки энергетической эффективности электрического освещения; решение вопросов технической оценки, стандартизации и сертификации светотехнической продукции, с учетом опыта других стран и в первую очередь стран Таможенного Союза; представление информации о возможности проектирования и использования на практике энергетически эффективного освещения для проектировщиков, застройщиков, студентов, учащихся и населения; участие в реальном проектировании и строительстве объектов с целью демонстрации возможностей и применения энергетически эффективного освещения.

Для выполнения программы требуются энергетические аудиторы и менеджеры, владеющие достаточными знаниями и навыками в данной области. В программы подготовки и переподготовки энергоаудиторов включены модули «Энергосбережение в электрическом освещении» и «Электрическое освещение». Для изучения указанных модулей и разработано учебное пособие, в котором рассматриваются теоретические вопросы оптического излучения и электрического освещения, источники излучения и осветительные приборы, проведен анализ источников излучения, рассмотрены вопросы проектирования и методы расчета электрического освещения. Предложен порядок, методика проведения и определение энергетического потенциала при энергоаудите электрического освещения.

1. Обзор и анализ состояния в сфере энергосбережения РК

В настоящее время, вопросу сбережения и экономии электроэнергии в Казахстане уделяется пристальное внимание, что обусловлено следующими факторами:

- реализацией Государственной Программы по форсированному индустриально-инновационному развитию Казахстана на 2010-2014 года. В рамках которой предусмотрено строительство и введение в действие 237 крупных инвестпроектов, среди них заводы, технопарки, промышленные производства и инфраструктурные объекты [3];

- реализацией областными и городскими Акиматами (администрациями), программ по внедрению энергосберегающего оборудования; мероприятий по энергосбережению и эффективному использованию энергии, которые в ближайшем будущем, должны стать обязательной частью региональных комплексных программ социально-экономического развития регионов, в том числе региональных энергетических программ. Прорывной отраслью в настоящее время является светотехника, где повсеместно начинают использовать светодиодные источники и светильники, так светодиодные системы освещения внедряются в городское муниципальное хозяйство и промышленность [4];

- в ноябре 2011 года, Правительство Казахстана одобрило комплексный план в сфере энергосбережения. Комплексный план состоит из 47 мероприятий, в том числе 25 межотраслевых мероприятий, 5 пилотных проектов, 24 мероприятий в сфере промышленности, электроэнергетики, теплоэнергетики, жилищно-коммунального хозяйства. Реализацией комплексного плана будут охвачены все национальные компании, государственные органы, акиматы областей, городов Алматы и Астаны, субъекты жилищно-коммунального хозяйства. Выполнение комплексного плана обеспечит снижение энергоемкости ВВП на 10%, ежегодная экономия составит 16 миллиардов киловатт в час электроэнергии, 7 миллионов тонн угля и в денежном эквиваленте около 200 миллиардов тенге. Реализация комплексного плана позволит сформировать новую систему, которая будет развивать модернизированную промышленность с высокой производительностью, разрабатывать и внедрять новые технологии повышения энергоэффективности, осуществлять подготовку новых кадров и обеспечит взаимодействие науки и реальных секторов экономики, сформировать другое отношение и новое мышление у населения по рациональному использованию и разумному потреблению энергоресурсов [5];

- в 2012 году Главой государства подписаны законы РК « Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» Законом предусматривается создание правовой базы по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности, осуществлению финансирования мероприятий за счет бюджетов всех уровней. Законом предполагается создание государственного энергетического реестра[6]. Включенные в реестр субъекты, потребляющие более 1,5 тыс. тонн условного топлива в год, должны обязательно пройти энергоаудит, а затем

по итогам энергоаудита составить планы мероприятий по энергосбережению и обеспечить ежегодное снижение потребления энергетических ресурсов. В документе предусматриваются изменения и дополнения об административных правонарушениях, в части установления ответственности, за нарушение законодательства в сфере энергосбережения и повышения энергоэффективности; в Бюджетный и Налоговый кодексы. Предусматриваются изменения в законы о транспорте, жилищных отношениях, естественных монополиях и регулируемых рынках;

- 29 августа 2013 года, Постановлением Правительства Республики Казахстан № 904, утверждена Программа «Энергосбережение-2020»;
- значительный потенциал энергосбережения в Казахстане – по оценкам экспертов потенциал составляет 30% от общего уровня энергопотребления. Энергосберегающая светотехническая продукция становится главной темой казахстанских закупщиков потребителей (наиболее потребляющие сферы – жилые, общественные здания и промышленность);
- С введением в действие соглашения о Таможенном союзе Казахстана, России и Белоруссии – открываются новые перспективы сотрудничества для казахстанских, российских и белорусских производителей и поставщиков светотехнического оборудования. Планируется, что в ближайшее время значительно возрастет импорт/экспорт товаров в зоне действия Союза, включая и светотехническую продукцию в связи с упрощенной процедурой таможенной очистки и снижением транспортных расходов.

По данным ОИВТ РАН, расходы на освещение промышленных предприятий достигают 10% в общем балансе их электропотребления – что влечёт за собой ощутимые затраты на фоне постоянного повышения тарифов на электроэнергию. Практика показала, что увеличение освещённости в сборочных цехах с 200 до 800 лк повышает производительность труда на 7,8%. При этом, при недостаточной освещённости растёт кривая производственного травматизма, резко снижается производительность труда и качество продукции. Жилищно-коммунальный сектор потребляет 13,5% электрической энергии. По некоторым данным, общее годовое потребление электрической энергии в жилищном секторе составляет 8319,6 млн. кВтч., а 40-60% в энергопотреблении зданий отводится на электрическое освещение [15].

Если учесть, что выработка электрической энергии составила 90,2 млрд. кВтч, а потребление 91,4 млрд. кВтч и принять, что в среднем на электрическое освещение расходуется 12-14% от общего потребления, то получится цифра в пределах 12 млрд. кВтч.

Для реализации задач перехода РК к энергоэффективным технологиям работает проект Правительства РК и ПРООН/ГЭФ по применению энергоэффективного электрического освещения, участие которого предполагает определенный вклад в энергосбережение и снижение парниковых эмиссий.

Большие надежды, в этом плане, возлагаются на альтернативные источники энергии, однако в настоящее время доля ВИЭ в РК составляет 0,5% (по данным международной статистики). Объем вырабатываемой электроэнергии ВИЭ составляет 0,45 млрд. кВтч.

В Стратегическом плане МООС на 2011-2015 годы, утвержденном постановлением Правительства от 8 февраля 2011 года № 98, низкоуглеродный или “зеленый” рост экономики определен как позволяющий сократить выбросы парниковых газов наряду с предотвращением и снижением загрязнения окружающей среды. В качестве одного из стратегических направлений определен переход Республики Казахстан к низкоуглеродному развитию он предусматривает реализацию следующих стратегических целей:

Стратегическая цель 2.1 – «Создание условий для функционирования рынка для торговли квотами парниковых газов»;

Стратегическая цель 2.2 – «Создание условий для формирования принципов “зеленой” экономики».

В Казахстане с 2013 года запущена Национальная система торговли квотами на выбросы парниковых газов необходимые поправки в законодательство и подзаконные акты уже приняты. В качестве базы принята система ограничения торговли квотами, апробированная в Европейском союзе с 2005 по 2008 годы, которая уже показала свои преимущества.

С ростом экономики страны потребление энергетических ресурсов растет в таком же темпе, как и доля внутреннего валового продукта (ВВП) экономики, так как экономический рост сопровождается увеличением производства продукции и потреблением ресурсов [5]. Соответственно, с ростом численности населения и его благосостояния увеличивается потребление энергетических ресурсов.

В связи с этим, необходимо использовать энергоэффективность и энергосбережение не только как факторы энергетической и экологической безопасности, но и как инструменты модернизации отдельных секторов экономики. В различных секторах экономики может быть много факторов (например, в промышленности – затраты энергии на единицу выпускаемой продукции; в ЖКХ – снижение затрат энергии на 1 кв. м. и др.). В общем, экономически приоритетным направлением является снижение затрат энергетических ресурсов на единицу продукции ВВП.

Эффекты от мероприятий по энергосбережению и повышения энергетической эффективности можно разделить:

- экономические эффекты (окупаемость мероприятий по энергосбережению в определенный срок за счет экономии энергоресурсов);
- повышение конкурентоспособности экономики (модернизация промышленного сектора и инфраструктуры);
- экологические эффекты (переход на путь «зеленой» экономики);
- связанные эффекты (развитие науки, внедрение инноваций, новые рабочие места).

Энергоемкость ВВП является основным показателем энергоэффективности государства, определяется как отношение первичного энергопотребления (нефть, уголь, газ) к значению реального ВВП. В таблице 1.1 приведены показатели ВВП РК за 2006-2010 годы (по данным МЭА) [5].

Таблица 1.1 – Показатели энергоемкости ВВП Республики Казахстан за период с 2006 по 2010 годы

Годы	Население (млн.)	ВВП в ценах 2005 г. млрд. \$	Производство первич. энергии млн. т.н.э.	TPES (Полное потребление первич. энергии), млн. т.н.э.	Потребление электроэнергии, ТВт•ч	TPES/ население (т.н.э./чел.)	TPES/ ВВП (т.н.э./\$2005)
2006	15,31	62,31	130,97	61,42	65,71	4,01	0,99
2007	15,48	68,4	135,99	66,46	68,88	4,29	0,97
2008	15,68	70,75	148,19	70,92	73,5	4,52	1
2009	15,89	71,61	156,15	73,78	72,26	4,64	0,92
2010	16,32	77,25	156,75	75,01	77,17	4,6	0,97

Как видно из таблицы, рост ВВП сопровождается ростом удельных показателей энергоресурсов. Это указывает на то, что использование энергоресурсов не достаточно эффективно, в основе экономики находятся энергоемкие отрасли, на промышленных и энергетических предприятиях используется оборудование со значительной степенью износа, что предполагает и устаревшие технологии.

По данным МЭА энергоемкость ВВП РК, с 2008 по 2010 годы, снизилась на 3%, а в 2009 году энергоемкость снизилась на 8%. Это объясняется прошедшим мировым финансовым кризисом. Что привело к спаду энергоемкой продукции и соответственно к снижению потребления первичных энергоресурсов.

На рисунке 1.1 приведена энергоемкость ВВП за 2010 г. [5].

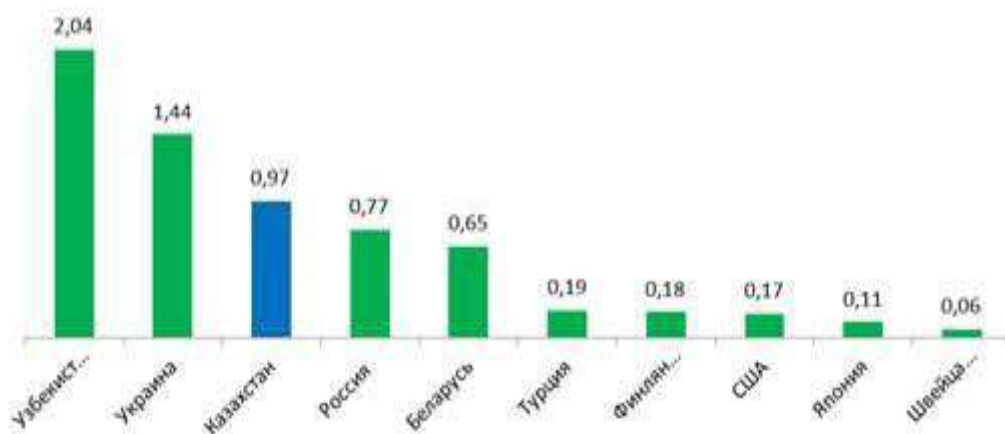


Рисунок 1.1 – Энергоемкость ВВП РК за 2010 г. МТНЭ / \$1000, 2005 г.

Энергоемкость ВВП РК является высокой по сравнению с другими странами и превышает энергоемкость ВВП России и Беларуси имеющими структуру экономики близкую к казахстанской. Это говорит о том, что имеется значительный потенциал снижения энергоемкости, в пределах 15-40%. Соответственно, снижение энергоемкости приведет к снижению потребления первичных энергоресурсов и повышению энергетической эффективности секторов экономики РК.

Как уже указывалось ранее, значительную долю в общем энергопотреблении занимает электрическое освещение. Поэтому использование энергосберегающих технологий в освещении дают конкретному предприятию или организации существенную экономию ресурсов.

Эти и многие другие проблемы решает грамотно спроектированное и правильно эксплуатируемое электрическое освещение. Освещение подразделяется на искусственное, естественное и комбинированное. В зависимости от объекта выполняется определенный вид освещения, но в подавляющем большинстве электрическое освещение присутствует. Электрическое освещение подразделяется на виды и системы. Освещение необходимо в общественных, бытовых, торговых и жилых зданиях, спортивных залах и сооружениях, для освещения улиц, площадей и дорог, архитектурного, фасадного освещения и др. Промышленное освещение объединяет в себе освещение складов, цехов, открытых производственных территорий, подъездных путей и хранилищ. Сегодня основная задача в этой сфере состоит в том, чтобы обеспечить высококачественное, оптимальное освещение производственных помещений и рабочих мест при минимальных расходах электроэнергии. Не менее важно при проектировании промышленного освещения, чтобы все системы обладали устойчивостью к жёстким условиям эксплуатации, достаточной мощностью, высоким КПД и были удобны в обслуживании.

Важную роль в помещениях, предназначенных для труда, играет естественный свет. Известно, что недостаток природного света, может вызвать серьёзный психологический дискомфорт. В производственные помещения естественный свет проникает через окна или специальные проёмы в наружных стенах («световые фонари»), а чтобы использовать его по максимуму, стены, потолки и оборудование окрашивают светлой краской. Тем не менее, всего этого обычно недостаточно для обеспечения необходимой освещённости даже в дневное время суток. Поэтому внутри рабочих помещений используется совмещённое естественное и искусственное освещение. В свою очередь, искусственное освещение может быть общим (равномерным) и комбинированным (с дополнительными светильниками на рабочих местах). Если помещение разделено на рабочие и вспомогательные зоны, освещённость второстепенных зон обычно снижают, чтобы более рационально использовать электроэнергию. [14,16,18].

Современное промышленное производство предполагает наличие многоуровневого освещения:

- рабочее освещение – для помещений и открытых пространств, предназначенных для работы, движения людей или проезда транспорта;
- аварийное – освещение безопасности, позволяющее продолжить работу при отключении рабочего освещения, и эвакуационное освещение;
- охранное – освещение вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время [16].

Рабочее освещение тесно связано со здоровьем и безопасностью людей, поэтому оно регламентируется СНиПами и ГОСТами. Уровень освещённости должен соответствовать характеру зрительной работы. Это определяется СНиП

РК 2.04-05-2002 «Естественное и искусственное освещение» [28]. В некоторых ситуациях – например, при повышенной травмоопасности, специальных санитарных требованиях или производственном обучении подростков – нормы освещённости, в соответствии со СНиП, могут ужесточаться [28].

Как видно, энергоэффективному освещению уделяется достаточное внимание в мировом сообществе и для выполнения такой сложной программы необходимы квалифицированные специалисты.

Подготовка специалистов должна осуществляться в специальных центрах, которые могут быть построены по принципу существующих зарубежных центров энергоэффективности. Центры энергоэффективности осуществляют свою деятельность, как отдельные организации, так и в составе отраслевых ассоциаций и предприятий и выступают в качестве инструмента взаимодействия с местным сообществом. Центры оказывают сервисные, научно-исследовательские, проектные, информационные и другие услуги [37]. Международный опыт показывает, что такие центры могут функционировать при высших учебных заведениях, как научно-исследовательских, так и переподготовки кадров. Центры энергоэффективности, чаще всего, не могут существовать на принципах полной самоокупаемости и поддерживаются государственными и международными программами. В [37] приводятся примеры центров энергоэффективности: центр энергоэффективности университета штата Орегон (OSU EES, США) является научно-исследовательским центром, работает по направлениям ВИЭ, энергоэффективность в промышленности, сельском хозяйстве, коммерческом и жилищном секторах; центр энергоэффективности и технологий ВИЭ (CEERT, США) осуществляет проектирование, технические разработки, внедрение, проводит информационно-разъяснительные мероприятия; демонстрационные энергетические центры Мичигана (США), самостоятельные неправительственные некоммерческие центры, представляют собой сеть энергетических демонстрационных центров, предназначены для продвижения энергоэффективных и возобновляемых источников энергии, обучают население; региональный центр энергоэффективности в зданиях (REEC, Индия), главной задачей является повышение осведомленности об энергоэффективности среди проектировщиков зданий, сотрудников министерств и других заинтересованных лиц.

В рамках проектов Правительства Республики Казахстан/ Программы развития ООН/ Глобального Экологического Фонда «Продвижение энергоэффективного освещения в РК» и «Энергоэффективное проектирование и строительство жилых зданий» разработана концепция создания центра энергоэффективности в Казахстане со сроком реализации 2010-2015 годы и программа обучения энергоаудиторов.

АО «КазЦентрЖКХ», АО «Национальный инновационный фонд», АО «Фонд науки», АО «Центр инжиниринга и трансферта технологий», АО «КазАгроИнновация» определены в качестве институтов инновационного развития (ПП РК от 06.08.09 № 1201 и ПП РК от 30.10.09 № 1725). Что дает основание для комплексной научной, технологической и инновационной поддержки различных отраслей экономики.

Согласно со статьей 8-1 Закона РК «О государственной поддержке инновационной деятельности» созданы и создаются Центры распространения инноваций (знаний) на базе научно-исследовательских учреждений. При содействии АО «КазЦентрЖКХ» Центр энергосбережения и распространения знаний (ЦЭРЗ) открыт при Казахском Агротехническом Университете (КАТУ) им. С. Сейфуллина (г. Астана). Такие же центры открываются и в других регионах РК. Кроме переподготовки специалистов необходимо уделять внимание и подготовке специалистов владеющих необходимыми знаниями в области новых технологий и энергосбережения.

В рамках программы подготовки и переподготовки специалистов в области энергоаудита зданий и сооружений разработаны учебные планы и программы, которые предлагаются для применения в центрах энергосбережения и распространения знаний (ЦЭРЗ).

Согласно планам подготовки энергетических аудиторов предусмотрен раздел: электрическое освещение и энергосбережение в электрическом освещении.

2. Программы подготовки энергетических аудиторов в ЦЭРЗ

Программы обучения энергетических аудиторов подготовлены исходя из расчета 250 часов, в течение трех сессий и 125 часов в течение двух сессий. Указанные часы распределяются на теоретическое обучение (90 и 50 часов соответственно), включающее в себя лекционные, практические и лабораторные занятия, а так же на самостоятельную работу (160 и 75 часов). В теоретическом курсе рассматриваются: основные понятия и определения; необходимость энергосбережения и роль аудиторов; существующая ситуация в странах Европейского Союза (ЕС) и Республике Казахстан; Европейская законодательная база и законодательная база РК; действующие и перспективные проекты данного направления в РК; энергетический аудит зданий, сооружений и промышленных предприятий; энергосбережение в теплоэнергетике и электроэнергетике; в системах водоснабжения, электрическом освещении и других системах жизнеобеспечения; автоматизация инженерных систем зданий и сооружений; расчеты показателей энергетической эффективности; энергетический менеджмент, и другие вопросы необходимые для обследования объектов, работы с программами и принятия решений. Значительная доля времени выделена для изучения измерительных и контрольных приборов, инструментального энергетического аудита, возобновляемых источники энергии и экологическим вопросам при внедрении энергосберегающих технологий и мероприятий.

Самостоятельная работа предусматривает: выполнение конкретных индивидуальных заданий (упражнений), с предоставлением отчетов; энергетический аудит реальных объектов с применением необходимых средств измерения,

расчетных программ и предоставлением заключения по энергетическому аудиту, необходимыми расчетами, подготовкой энергетического паспорта и определением класса энергетической эффективности объекта (согласно Правилам проведения энергетического аудита промышленных объектов и общественных зданий, 2011г.).

По окончании теоретического курса обучения и выполнении всех практических заданий предусматривается итоговый контроль. При успешном завершении обучения, уполномоченным органом, выдается сертификат установленного образца. Учебные планы и программы подготовки энергетических аудиторов на 250 и 125 часов приведены в приложении 4.

1.1. Основные требования к подготовке энергоаудиторов

При проведении энергетического аудита любых объектов в обязательном порядке рассматривается электрическая составляющая, в которую входит электрическое освещение и его доля может составлять 10-15% от общего электрического потребления. До настоящего времени энергосбережению в электрическом освещении уделялось мало внимания, кроме того, энергетический аудит электрического освещения проводился не достаточно профессионально. Предлагаемые мероприятия носили формальный характер и сводились к замене источников излучения или установке датчиков движения (хотя это тоже важные предложения), без детального рассмотрения существующей ситуации. При проведении энергетического аудита необходимо учитывать: вид и системы освещения; состояние ограждающих конструкций (стен, потолка, пола с точки зрения отражающих поверхностей); соблюдение норм освещенности и санитарных норм; состояние осветительной арматуры и источников света (чистые, запыленные), состояние питающих сетей, уровень напряжения на обследуемом объекте, у источников света и другие вопросы [25,26,27,28,29]. Во многих случаях необходимо проводить инструментальный аудит или выполнять светотехнические и электрические расчеты [30,31,32,33].

Для оценки светотехнических и электрических характеристик, энергетического потенциала электрического освещения объектов, зданий и сооружений необходимы хорошие знания в области светотехники и энергетического аудита. Энергоаудиторы должны обладать достаточными теоретическими знаниями и практическими навыками в области электрического освещения. Уметь оценить существующее положение и предложить энергетически эффективные мероприятия. При проведении светотехнического аудита проводится количественная и качественная оценка электрического освещения, при этом измеряются уровень освещенности, коэффициент пульсации светового потока, яркость, цветовая температура. Для этого используются специальные поверенные приборы (люксометры, яркомеры, пульсметры, спектрокалориметры).

Как указывалось ранее, при проведении энергетического аудита в обязательном порядке рассматривается энергосбережение в электрическом освещении.

щении. Поэтому при подготовке энергетических аудиторов предусматривается изучение основ светотехники и энергосбережение в электрическом освещении. В зависимости от программы предусматривается изучение данного раздела в объеме от 4 до 10 часов.

Изучение электрического освещения предлагается проводить в следующем порядке:

- физические основы оптического излучения;
- спектры излучения, законы излучения;
- источники и приемники оптического излучения;
- экономичные источники излучения;
- осветительные приборы;
- естественное и искусственное освещение;
- виды и системы освещения;
- нормативные документы;
- производственное освещение;
- проектирование электрического освещения, методы расчета, выбор сечения проводов и кабелей, аппаратуры защиты и управления;
- программное обеспечение;
- электрическое освещение зданий, сооружений, дорог, уличное, фасадное и парковое освещение;
- автоматическое управление электрическим освещением (промышленность, общественные и бытовые объекты, уличное освещение и др.).

Энергетический аудит электрического освещения (светоаудит):

- характеристика архитектурно-строительной части и технологического процесса;
- виды и системы освещения;
- уровень освещенности и соответствие нормам РК;
- критерий экономичности, оценка физического и морального износа светотехнического и вспомогательного оборудования;
- соответствие ПУЭ и ПТБ;
- степень автоматизации и состояние питающих сетей;
- качество напряжения; расчет нагрузки осветительной сети, удельная нагрузка;
- анализ, определение энергетического потенциала;
- энергетически эффективные мероприятия;
- экономическая оценка;
- экологические выгоды.

В учебных планах и программах разработанных для подготовки энергоаудиторов предусмотрено изучение указанных вопросов.

1.2 Общие сведения по электрическому освещению

Устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии в оптическое излучение определенного диапазона (УФ, видимое, ИК), называется искусственным электрическим источником излучения. Диапазон оптических излучений в пределах длин волн от 380 до 760 нм называется видимым. Приемником данного диапазона длин волн являются органы зрения (средний человеческий глаз). Оптическое излучение характеризуется длиной волны и частотой, имеет свое место в общем ряду электромагнитных колебаний, т.е. является электромагнитными колебаниями и подчиняется соответствующим законам. Видимое излучение называют еще световым излучением или просто светом.

К световым величинам относятся: сила света, световой поток, освещенность, светимость, яркость, световая энергия [12].

В современных источниках света электрическая энергия преобразуется в видимое излучение, в основном, двумя путями [12]:

- посредством нагрева тела электрическим током (тепловые источники);
- посредством электрического разряда в газах и парах металлов (газоразрядные источники).

Различают энергетические, светотехнические, электротехнические и эксплуатационные показатели источников света [10].

Осветительные приборы содержат источник света и оптическую систему со вспомогательной арматурой и предназначены для освещения различных объектов.

Основная функция осветительного прибора – перераспределение светового потока источника света в требуемом направлении окружающего его пространства. Различают осветительные приборы ближнего (светильники) и дальнего (прожектора) действия.

К основным светотехническим характеристикам светильников относятся:

- светораспределение и коэффициент усиления;
- коэффициент полезного действия (КПД);
- защитный угол;
- кривая силы света (КСС).

Светильники классифицируются по степени защиты от пыли и воды, по климатическому исполнению. По степени защиты от поражения электрическим током, взрыво и пожарной безопасности и другим признакам.

Существуют количественные требования по ограничению слепящего действия, путем введения показателя ослеплённости – P , для производственных зданий, и показателя дискомфорта – M , для общественных зданий.

Светильник должен удовлетворять требованиям соответствующих технических стандартов.

Одним из основных элементов светильника является его отражатель. Отражатели в светильниках предназначены для перераспределения светового потока источников света. Выполняются обычно из металла, и могут быть либо рассеянного света (диффузные), либо направленного света (зеркальные). Свето-

распределение светильников с диффузным отражателем (поверхность покрыта белой эмалью) практически не зависит от формы отражателя.

Наоборот, форма зеркального отражателя существенно влияет на светораспределение светильника, это позволяет за счет выбора соответствующего профиля зеркального отражателя получить светильник с заданной кривой силы света (отражатели изготавливаются из стекла, металла – сталь, алюминий).

К отражателям с направленно – рассеянным отражением, относятся металлические отражатели с травленной или неполированной поверхностью и отражатели, покрытые алюминиевой краской (занимают промежуточное положение).

Рассеиватели светильников могут изготавливаться из прозрачного, стекла подвергнутого химической или механической матировке стекла, либо из так называемых глушенных стекол (молочных или опаловых в состав которых, при варке, вводятся мельчайшие частицы с иным коэффициентом преломления, чем у стекла – криолит, плавиковый шпат).

Светильники с рассеивателями из матированного стекла имеют высокий КПД.

В светильниках с люминесцентными лампами используются, как правило, диффузные отражатели.

В высокоэффективных отражателях используют поверхность, покрытую серебром, которая обладает исключительно высоким зеркальным отражением, обеспечивая максимальный коэффициент усиления. Высокоэффективные отражатели обеспечивают увеличение коэффициента использования осветительной установки, в результате чего большая часть светового потока, излучаемого лампами, достигает рабочей поверхности [8].

3. Основные понятия и энергетические величины оптического излучения

Излучение является одним из видов энергии и представляется как форма существования материи, в виде электромагнитного поля.

Элементарная частица излучения – фотон, энергия которой (квант) определяется [11,16,24]:

$$E = h \cdot \nu$$

где ν – частота излучения, Гц
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, постоянная Планка.

Свойства фотона определяются его массой и импульсом:

$$m_{\phi} = \varepsilon / c^2; \quad P_{\phi} = h\nu / c = \varepsilon / c$$

где c – скорость света ($c = 2,9979 \cdot 10^8$ м/с).

Оптическая область спектра электромагнитных колебаний делится на три участка:

- ультрафиолетовое излучение (УФ, $\lambda = 1 \div 380$ Нм);
- видимое излучение ($\lambda = 380 \div 780$ Нм);
- инфракрасное излучение (λ от 780 нм до 1 мм).

В свою очередь, ультрафиолетовое и инфракрасное излучения подразделяются еще на три области:

Для ультрафиолетового излучения:

УФ – А от 315 до 400 Нм

УФ – В от 280 до 315 Нм

УФ – С от 100 до 280 Нм

Для инфракрасного излучения:

ИК – А от 780 до 1400 Нм

ИК – В от 1400 до 3000 Нм

ИК – С от 3000 до 10^6 Нм

Оптическая область излучения, в спектре электромагнитных излучений, находится между рентгеновскими лучами и радиоволнами.

Оптическое излучение имеет три разновидности спектров:

– сплошной спектр (заполнение интервала длин волн, монохроматическими составляющими без разрывов);

– линейчатый спектр (заполнение интервала длин волн отдельными, не смыкающимися друг к другу монохроматическими составляющими);

– полосатый спектр (интервал длин волн заполняется дискретными группами (полосами), которые состоят из множества близко расположенных линий).

Для оценки действия оптического излучения используется понятие – **энергия излучения**,

$$Q_e - [\text{Дж}], \quad (1 \text{ Дж} = 6.29 \cdot 10^{20} \text{ эВ})$$

Мощность излучения, т.е. количество энергии в единицу времени, для оптического диапазона, **называется потоком излучения**,

$$\Phi_e - [\text{Вт}], \quad (1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж} \cdot \text{с}^{-1})$$

Поток излучения:

$$\Phi_e = dQ_e / dt \quad (3.1.)$$

для средних значений, за конечный интервал времени:

$$\Phi_e = Q_e / t \quad (3.2.)$$

Поток излучения в пространстве распределяется неравномерно, поэтому введено понятие сила излучения I_e .

Множество направлений в пространстве определяется телесным углом ω :

$$\text{Сила излучения } I_e = d\Phi_e/d\omega \quad (3.3.)$$

при равномерном распределении потока излучения:

$$I_e = \Phi_e / \omega \quad (3.4.)$$

$$\text{Телесный угол, } \omega = 2\pi (1 - \cos)$$

Если, определен радиус и площадь участка, вырезаемой на сфере конической поверхностью, то телесный угол:

$$\omega = S/r^2 = 1 \text{ ср} \quad (3.5)$$

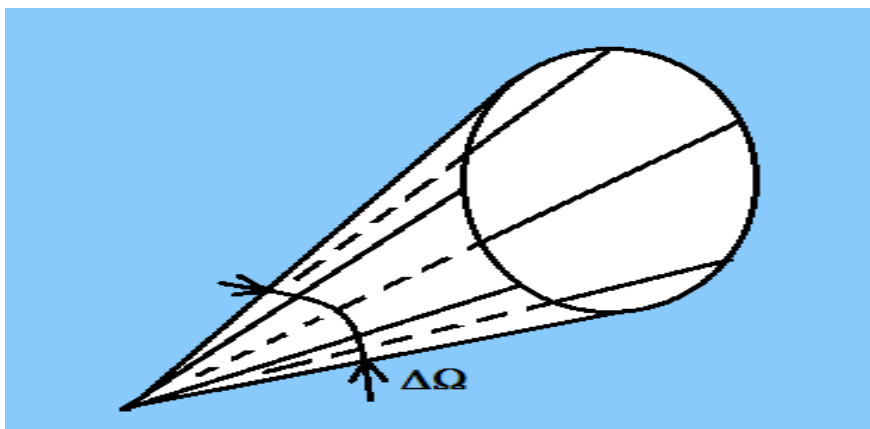


Рисунок 3.1 – Определение телесного угла

При известных кривых силы излучения и при равномерном распределении потока в пространстве, полный поток излучения источника:

$$\Phi_e = I_e \cdot \omega \quad (3.6.)$$

При неравномерном распределении потока излучения в пространстве, общий поток находится суммированием элементарных потоков $d\Phi_e$ по всем направлениям с учетом углов [8,10]:

$$\Phi_e = \int_{\infty} I_e(\alpha, \varphi) d\omega \quad (3.7.)$$

Для симметричных источников излучения поток:

$$\Phi_e = 2\pi \int_0^{\pi} I_e(\varphi) \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi \quad (3.8.)$$

Чаще всего расчет полного потока излучения проводят по методу зональных углов [10]:

$$\Phi_e = 2\pi \int_{\varphi=0^\circ}^{\varphi=180^\circ} I_{\text{иср}}(\varphi_i) \cdot (\cos\varphi_i - \cos\varphi_{i-1}) \quad (3.9.)$$

Поток излучения воздействует на приемники в зависимости от их свойств.

Поток может отражаться, пропускаться или поглощаться приемником излучения. С учетом закона сохранения энергии:

$$\Phi_e = \Phi_p + \Phi_a + \Phi_t \quad (3.10.)$$

Для количественной оценки оптических свойств приемника, введены интегральные коэффициенты:

- отражения, $\rho = \Phi_p / \Phi_e$;
- поглощения, $\alpha = \Phi_a / \Phi_e$;
- пропускания, $\tau = \Phi_t / \Phi_e$.

Для данных коэффициентов справедливо равенство:

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

Кроме интегральных коэффициентов, используются и спектральные коэффициенты: $\rho(\lambda)$; $\alpha(\lambda)$; $\tau(\lambda)$.

Для оценки реального излучателя, с точки зрения равномерного распределения потока излучения по поверхности источника, вводится понятие энергетической светимости.

Энергетическая светимость определяется отношением элементарного потока излучения к элементарной площади излучателя:

$$M_e = d\Phi_e / dS_{\text{и}} \quad (3.11.)$$

Для излучателя конечных размеров (реальные излучатели) с равномерно распределенным потоком излучения:

$$M_e = \Phi_e / S \quad [\text{Вт/м}^2] \quad (3.12.)$$

Для оценки плотности излучения поверхности, на которую падает поток излучения, используется величина называемая энергетической освещенностью (облученностью), E_e . **Энергетической освещенностью** называется отношение элементарного потока излучения, падающего на элементарный участок приемной поверхности с равномерным распределением, к площади этого участка:

$$E_e = d\Phi_e / dS_o \quad (3.13.)$$

При равномерном распределении потока излучения по поверхности с конечными размерами:

$$E_e = \Phi_e / S_0 \quad (3.14.)$$

Единица измерения энергетической освещенности (облученности) – Вт/м². Численно, равна значению энергетической освещенности поверхности площадью 1 м², на которую падает поток излучения мощностью в 1 Вт.

Таким образом, понятия светимости и освещенности (облученности), похожие.

Разница заключается в том, что светимость относится к излучающему источнику, а освещенность (облученность) к телу, на которое падает поток излучения и отражается им.

Учитывая, изложенное выше, между светимостью и освещенностью можно установить зависимость:

$$M_e = \rho_e \cdot E_e \quad (3.15.)$$

где ρ_e – интегральный коэффициент отражения.

Для характеристики пространственного распределения плотности потока излучения, используется величина называемая **энергетической яркостью**, L_e .

Если поток излучения Φ_e равномерно распределен, то энергетическая яркость поверхности в направлении α будет равна:

$$L_\alpha = \Phi_e / [(S \cdot \cos\alpha) \cdot \omega], [\text{Вт/ср} \cdot \text{м}^2] \quad (3.16.)$$

При неравномерном распределении потока излучения, энергетическая яркость рассчитывается для элементарных участков поверхности и телесных углов:

$$L_\alpha = d^2 \Phi_e / (dS \cdot \cos\alpha \cdot d\omega) \quad (3.17.)$$

энергетическую яркость можно найти через силу излучения в направлении α :

$$L_\alpha = I_\alpha / S \cdot \cos\alpha \quad (3.18.)$$

При равномерном распределении:

$$L_\alpha = d I_\alpha / (dS \cdot \cos\alpha) \quad (3.19.)$$

У большинства источников излучения яркость по направлениям примерно одинакова, т.е. излучение подчиняется закону Ламберта: яркость источника постоянна во всех направлениях пространства и не является функцией направления, определяемого углом α .

Для таких случаев силу излучения можно определить по следующей формуле [16,17,10,24]:

$$I_{\alpha} = I_0 \cdot \cos \alpha = L_e \cdot S \cdot \cos \alpha \quad (3.20.)$$

где I_0 – сила излучения при $\alpha = 0$.

Закону Ламберта подчиняется излучение черного тела. Из реальных излучателей – диффузно излучающие тела и поверхности.

Для оценки равномерности распределения излучения по поверхности, можно воспользоваться поверхностной плотностью излучения M_e и энергетической яркостью L_e .

Поток излучения для равномерной поверхности (сферы):

$$\Phi_e = \pi \cdot L_e \cdot S, \quad (3.21.)$$

откуда:

$$L_e = \Phi_e / (\pi \cdot S) = M_e / \pi \quad (3.22.)$$

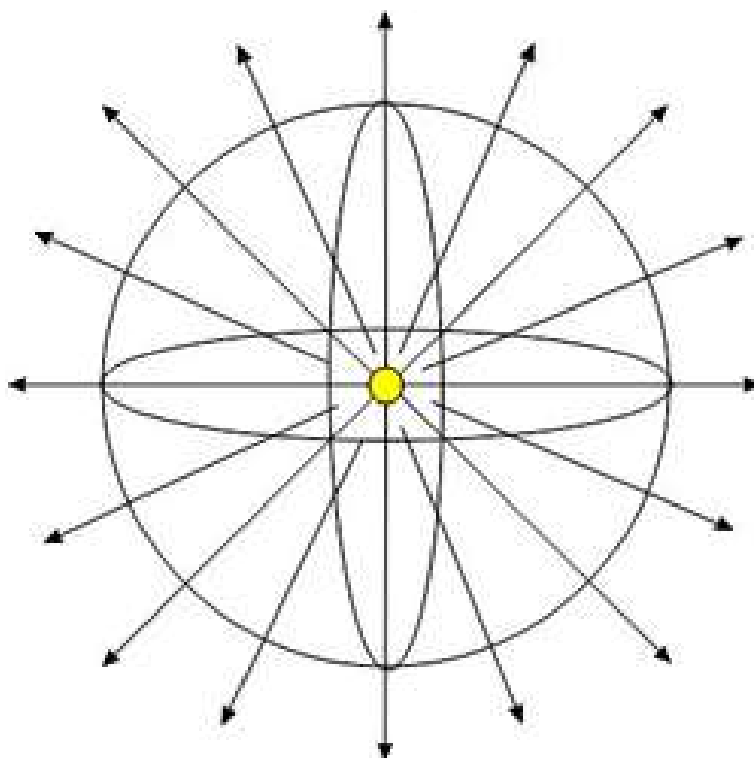


Рисунок 3.2. – Равнояркая сфера.

Точечный, сферический источник, имеющий постоянную силу света во всех направлениях $I = I_0 = \text{const}$.

Интегрирование по сфере дает определение светового потока: $\Phi = 4\pi I_0$.

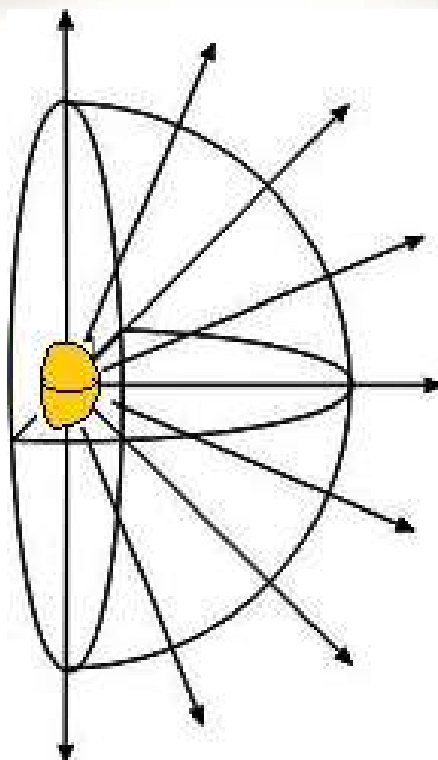


Рисунок 3.3. – Равнояркая полусфера

Световой поток для равнояркой полусферы равен: $\Phi = 2\pi I_0$.

В узконаправленном излучателе сила света примерно одинакова в пределах телесного угла. Световой поток определяется выражением: $\Phi = 2\pi I_0 (1 - \cos\varphi)$.

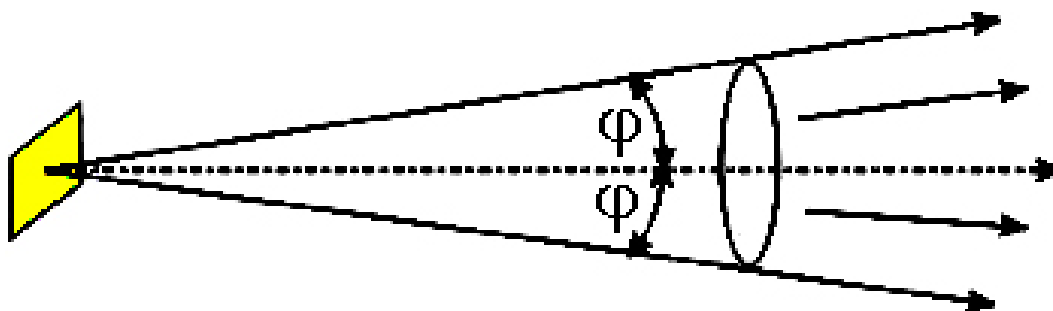


Рисунок 3.4. – Узконаправленный излучатель

Для процессов, в которых определяющим является не мощность, а энергия излучения, в течение какого либо промежутка времени:

$$Q_e = \Phi_e \cdot t, [\text{Вт} \cdot \text{с}] \text{ или } [\text{Дж}] \quad (3.23.)$$

Если поток излучения не постоянный по времени, то энергия излучения определяется по формуле:

$$Q_e = \int_{t_1}^{t_2} \Phi_e(t) \cdot dt \quad (3.24.)$$

При оценке действия потока излучения используется понятие **энергетической экспозиции**:

$$H_e = E_e \cdot t, \text{ [Вт/м}^2 \cdot \text{с]} \quad (3.25.)$$

Для постоянного количества излучения, энергетическая экспозиция находится, согласно следующему выражению:

$$\begin{aligned} dH_e &= E_e(t) \cdot dt && \text{или} \\ H_e &= \int_0^t E_e(t) \cdot dt \end{aligned} \quad (3.26.)$$

Часто, для импульсных источников, используется характеристика – **энергетическое освечивание**:

$$\theta_e = \int_0^t I_e(t) \cdot dt. [\text{Джс / ср}] \quad (3.27.)$$

Энергетические величины можно определить, зная спектральные плотности соответствующих величин:

- сила излучения,

$$I_e = \int_0^\infty I_{e\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda \quad (3.28.)$$

- энергетическая яркость,

$$L_e = \int_0^\infty L_{e\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda \quad (3.29.)$$

Для тепловых источников излучения определяется:

- спектральная плотность энергетической светимости,

$$M_{e\lambda} = dM_e(\lambda)/d\lambda \quad (1.30.)$$

- интегральная энергетическая светимость,

$$M_e = \int M_e(\lambda) \cdot d\lambda \quad (3.31.)$$

(Расчет энергетических величин приведен в Приложении 1).

4. Световые величины и единицы

Мощность видимого излучения принято называть **световым потоком**, Φ [лм].

Люмен – это излучаемый черным телом световой поток с площадью выходного отверстия $0,5305 \text{ м}^2$, при нормальном атмосферном давлении, при температуре затвердевания платины (2046 К).

Существует определение светового потока через силу света в 1 канделу (кд), который излучается изотропным точечным источником, в единичном телесном угле.

Учитывая ранее изложенное, можно установить связь между потоком излучения и световым потоком за счет относительной спектральной световой эффективности $V(\lambda)$.

Один Ватт однородного потока излучения, с длиной волны

$\lambda = 555 \text{ нм}$, равен 680 лм (более точно – 683 лм) [11,14,16,17,18,24]

Следовательно $S(\lambda_{\max}) = K_{\max} = 680 \text{ лм}$

Тогда, однородный световой поток:

$$\Phi(\lambda) = K_{\max} \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) = 680 \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e(\lambda) \quad (4.1.)$$

Световой поток для источника с линейчатым спектром можно определить по формуле:

$$\Phi = 680 \sum_{i=1}^n \Phi_e(\lambda_i) \cdot V(\lambda_i) \quad (4.2)$$

где n – число линий в спектре.

Для источника имеющего сплошной спектр:

$$\Phi = 680 \int_{380}^{780} \Phi_{e\lambda}(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (4.3.)$$

Интегрирование можно заменить суммированием, тогда:

$$\Phi = \Delta\lambda \cdot 680 \sum_{i=1}^n \Phi_{e\lambda}(\lambda_i) \cdot V(\lambda_i) \quad (4.4.)$$

где n – число участков; $\Delta\lambda$ – ширина спектрального интервала;

$\Phi_{e\lambda}(\lambda_i)$ – значение спектральной плотности для середины i -го интервала;

$V(\lambda_i)$ – значение относительной спектральной световой эффективности для середины i -го интервала.

Пространственную плотность светового потока в заданном направлении называют **силой света**:

$$I = d\Phi / d\omega \quad (4.5.)$$

При равномерном распределении светового потока в пределах телесного угла ω , сила света равна:

$$I = \Phi / \omega, \text{ [кд]} \quad (4.6.)$$

По аналогии с энергетическими величинами для видимого излучения, введены понятия:

• **освещенность**, $E = d\Phi / dS \quad (4.7.)$

для равномерного потока,

$$E = \Phi / S \text{ [лк]} \quad (4.8.)$$

Световой поток может падать на освещаемую плоскость под разными углами, поэтому для перпендикулярного направления применима формула 4.8. Для наклонной плоскости к данной формуле необходимо добавить $\cos \alpha$,
 $E = \Phi \cos \alpha / S, \text{ [лк]}$

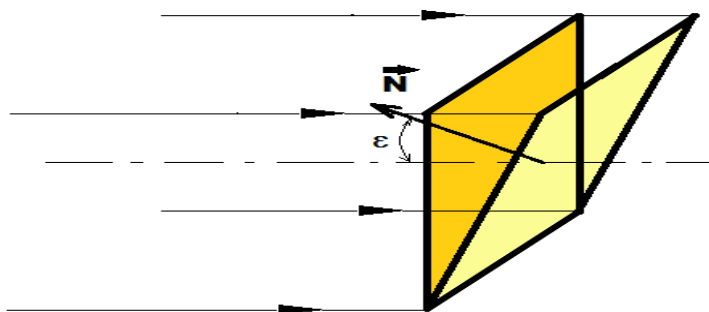


Рисунок 4.1 – Определение освещенности через световой поток.

Освещенность можно определить, зная силу света источника. Для точечного источника излучения с силой света I и расстоянием до освещаемой площадки r .

Освещенность, $E = I \cos \alpha / r^2$

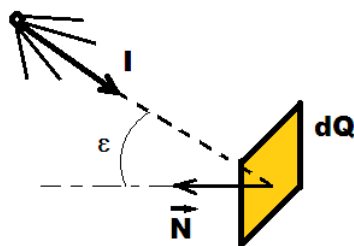


Рисунок 4.2 – Определение освещенности через силу света

• **светимость**, $M = d\Phi / dS$;

для равномерного потока,

$$M = \Phi / S, \text{ [лм/м}^2\text{]}, \quad (4.9.)$$

$$M = 680 \int M_{e\lambda}(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (4.10.)$$

• **яркость** $L = dI(\alpha) / dS$,

– при равномерном распределении

$$L = I / S \text{ [кд/м}^2\text{]} \quad (4.11.)$$

Яркость L определяется отношением силы света I в заданном направлении, к площади проекции светящейся площадки на плоскость, перпендикулярную этому направлению. Таким образом, яркость, как и сила света, зависит от направления.

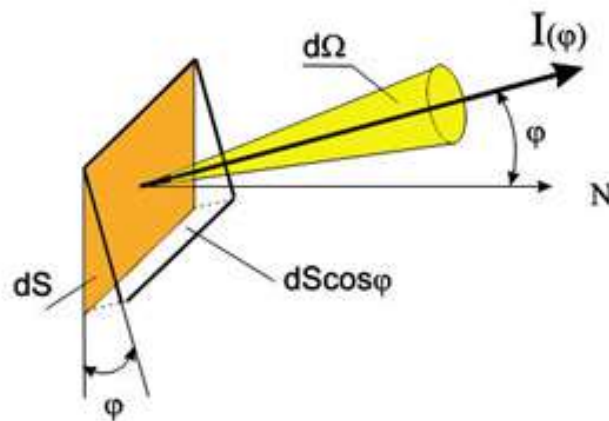


Рисунок 4.3 – Определение яркости.

N – нормаль к светящейся поверхности;

dS – элементарная площадка;

φ – угол между нормалью и направлением, в котором определяется яркость;

$dS \cos \varphi$ – площадь проекции светящейся площадки.

Таким образом, яркость: $L = dI / dS \cos \varphi$.

Яркость светящегося объекта это фотометрическая величина, на которую реагируют органы зрительного восприятия. Используя геометрические построения, рисунок 4.4, требуется определить величины, влияющие на зрительное ощущение.

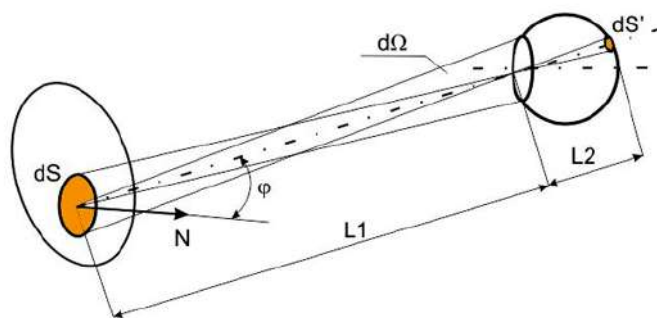


Рисунок 4.4 – Определение яркости от светящегося объекта.

dS – элементарная площадка светящегося тела;

dS' – площадь её изображения на сетчатке глаза.

Согласно рисунку 4.4 можно составить выражение для источника и приемника излучения: $dS \cos \varphi / L_1^2 = dS' / L_2^2$.

Зрительные ощущения, определяются освещённостью, формируемой на сетчатке глаза. Для определения освещённости элементарного участка dS' , необходимо найти световой поток $d\Phi$, попадающий на глаз от площадки dS : $d\Phi = dI \cdot Q / L_1^2$, где Q - площадь зрачка глаза. После хрусталика световой поток с учётом коэффициента поглощения τ : $d\Phi^1 = dI (\tau Q / L_1^2)$

После преобразований и сокращений освещённость на сетчатке будет равна:

$$E^1 = d\Phi^1 / dS^1 = L_1 (\tau Q / L_2^2)$$

В правой части этого выражения присутствуют величины, зависящие только от свойств глаза. Таким образом, основная величина, определяющая силу зрительных ощущений, это яркость светящейся поверхности.

Для нестационарных световых процессов используется величина – **световая энергия излучения**.

При переменном световом потоке световая энергия излучения определяется по формуле:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \Phi(t) \cdot dt \quad (4.12.)$$

где $\Phi(t)$ – мгновенные значения светового потока;
 t_1 и t_2 – время, в течение которого действует излучение.

Для постоянного светового потока энергия:

$$Q = \Phi \cdot t \text{ [лм·с]} \quad (4.13.)$$

(Расчет световых величин приведен в Приложении 1).

5. Расчет электрического освещения

5.1 Нормирование освещения

Необходимость обеспечения требуемого уровня освещенности не вызывает сомнения. При обеспечении нормируемой освещенности учитываются затраты, на устройство и эксплуатацию освещения, а также гигиенический, производственный и экономический эффект.

Многочисленные исследования показывают, что создание необходимой освещенности ведет к увеличению производительности труда (5÷20%) и снижению травматизма [14,17].

Так, для работ средней точности, оптимальная освещенность находится в диапазоне 1500÷2000 лк.

Английский светотехник Вестон предложил методику для определения нормы освещенности, при условии, что относительная зрительная работоспособность (отношение зрительной работоспособности в конкретных условиях к максимальной) равна 0,9, а средний контраст принят равным 0,25:

$$E = \frac{1930}{\rho \cdot \alpha^{1,5}},$$

где ρ – коэффициент отражения фона;

α – угловой размер различаемых деталей (при $\rho = 0,8$ и $\alpha = 10^{1,5}$, $E = 76,3$ лк; при $\rho = 0,1$ и $\alpha = 1^{1,5}$, $E = 19300$ лк).

В основу действующих норм положено обеспечение заданного значения относительной видимости равного 0,7.

В любом случае, нормирование должно учитывать характеристики зрительного процесса [14,10]:

- точность работы (угловой или линейный размер различаемых деталей с учетом расстояния до них);
- коэффициент отражения фона, на котором различаются детали;
- контраст между фоном и деталью;
- необходимость поиска деталей;
- подвижность или неподвижность рабочей поверхности;
- относительная длительность зрительного напряжения в течении рабочего дня.

Кроме выше указанных характеристик должны учитываться следующие факторы:

- опасность прикосновения к устройствам находящимся в рабочей зоне (токоведущие части, режущий инструмент и т.д.);
- наличие в поле зрения самосветящихся поверхностей, резко контрастирующих с фоном (вредный контраст можно уменьшить за счет увеличения освещенности рабочего места);

- повышенные санитарно- гигиенические нормы;
- отсутствие или недостаточная естественная освещенность;
- возраст персонала (после 30 лет возникает необходимость в увеличении освещенности в 1,5 раза).

При разработке норм используются две системы:

- нормы освещенности для конкретных рабочих мест и помещений;
- нормы освещенности в функции признаков, характеризующих зрительный процесс, без указания конкретных рабочих мест.

Уровень естественного и искусственного освещения нормируется строительными нормами и правилами: В РК СНиП - 2.04.-05-2002; в РФ - СНиП -23-05-95; в зависимости от характеристики зрительной работы, размера объекта различения, контраста объекта с фоном.

Таблица 5.1 – Уровни освещенности

Точность зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд	Освещённость, лк		
			при комбинированном освещении		при общем освещении
			всего	в том числе от общего	
Наивысшая	менее 0,15	I	1250–5000	200–500	—
Очень высокая	от 0,15 до 0,3	II	750–4000	200–400	200–750
Высокая	от 0,3 до 0,5	III	400–2000	200	200–500
Средняя	от 0,5 до 1	IV	400–750	200	200–300
Малая	от 1 до 5	V	400	200	200–300
Грубая	более 5	VI	—	—	200

Для естественного освещения нормируется коэффициент естественного освещения (КЕО) в процентах, а для искусственного освещения минимальная освещенность (E_{\min}) в люксах.

Нормированное значение КЕО, для объектов находящихся в различных районах (приложение Д) [3] находится по формуле:

$$e_N = e_H \cdot m_N,$$

где N – номер группы обеспеченности естественным светом (табл. 4) [28];

e_N – значение КЕО (табл. 1;2) [28];

m_N – коэффициент светового климата (табл.4) [28].

Неравномерность естественного освещения, производственных и общественных зданий, с верхним или комбинированным естественным освещением не должна превышать 3:1 [28].

Размеры световых проемов не должны отличаться от расчетных размеров на $\pm 10\%$.

Совмещенное освещение выполняется в производственных помещениях, при выполнении работ I-III разрядов, а также в некоторых других [25,28]. Искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, охранное, дежурное [25].

Аварийное освещение подразделяется на освещение безопасности и эвакуационное. Искусственное освещение может быть двух систем: общее освещение; комбинированное освещение [25,28].

Нормированные значения освещенности принимаются по следующей шкале [28]: 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; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000.

Для освещения помещений используются, как правило, газоразрядные источники света (или другие энергетически эффективные источники, например светодиодные). Использование ламп накаливания допускается, в случае невозможности или технико-экономической нецелесообразности применения разрядных ламп.

Выбор светильников производится исходя из условий среды, класса светораспределения, назначения эстетических требований и др.

При расчете электрического освещения производится размещение светильников, на плане помещения, с учетом типовой кривой силы света.

Рассмотрим решение данной задачи на конкретном примере.

Пример 1. В производственном помещении с размерами (20×10×3,5) м, предполагаем к установке светильники типа НСП11 (могут комплектоваться Л.Н., КЛЛ, LED), с подвеской на крюк. Степень защиты светильников IP 62, кривая силы света Д-2. Высота расположения рабочей поверхности $h_p = 0,8$ м. Коэффициенты отражения: $\rho_n = 70\%$; $\rho_c = 50\%$; $\rho_p = 10\%$. Естественное освещение боковое.

Необходимо разместить светильники на плане помещения и определить их количество (предварительное).

Рассчитать площадь световых проемов для естественного освещения.

Решение:

1. Определяем расчетную высоту:

$$h = H - h_c - h_p = 3,5 - 0,5 - 0,8 = 2,2 \text{ м.}$$

2. Найдем оптимальное расстояние между светильниками, с учетом КСС:

$L_o = \lambda_o \cdot h = 1,6 \cdot 2,2 = 3,5$ м принимаем $L_o = 3,5$ м ($\lambda_o = 1,6$, для светильников с косинусной кривой силы света, табличное значение).

3. Исходя из размеров помещения, определим количество рядов светильников:

$$n_B = B/L_o = 10/3,5 = 2,86, \text{ принимаем три ряда.}$$

4. Количество светильников в ряду,

$$n_A = A/L_o = 20/3,5 = 5,7, \text{ принимаем 6 светильников}$$

5. Общее количество светильников,

$$N = n_B \cdot n_A = 3 \cdot 6 = 18$$

6. Разместим светильники на плане помещения с учетом того, что отклонение действительного расстояния (L) от относительного (L_0) допустимо в пределах $10\div 20\%$ (за исключением увеличения расстояния между светильниками имеющими концентрированные и глубокие КСС). При увеличении расстояния между светильниками, более 10% , резко возрастает неравномерность освещения и расход электроэнергии. Поэтому, критерием экономичности может служить коэффициент неравномерности (E_{max}/E_{min}).

Данное отношение, согласно МСН: для работ I-III разрядов при люминесцентном освещении равно 1,3; при других источниках света – 1,5; для работ IV-VII разрядов – 1,5 и 2 соответственно.

При общем равномерном освещении, расстояние от крайних рядов до стен (колонн) принимается в пределах $(0,3\div 0,5) L$.

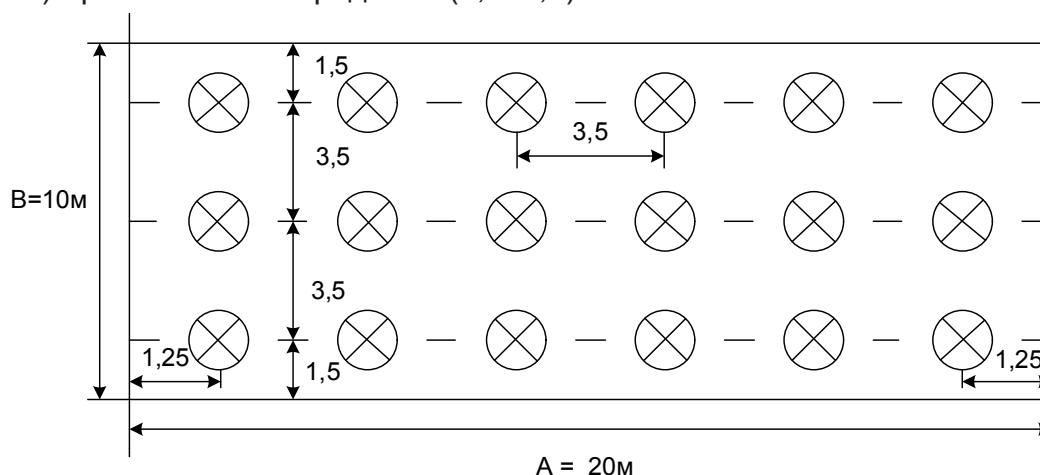


Рисунок 5.1 – Размещение светильников

Далее, производится расчет освещения (одним из методов), выбирается соответствующий по мощности источник света, при необходимости корректируется количество светильников и расстояния между ними.

7. Произведем расчет необходимой площади световых проемов (окон) для обеспечения требуемой естественной освещенности, согласно выражению:

$$100 \cdot \frac{S_0}{S_n} = \frac{e_N \cdot K_3 \cdot \eta_0}{\tau_0 \cdot r_1} \cdot K_{зд},$$

где e_N – нормативное значение КЕО, (табл.1. СНиП РК), общее наблюдение за ходом производственного процесса, $e_N = e_H \cdot m_N = 1 \cdot 0,9 = 0,9\%$, $m_N = 0,9$, табл. 4 СНиП РК, для 2 группы административных районов с ориентацией световых проемов С - Ю, для примера;

K_3 – коэффициент запаса, $K_3 = 1,2\div 2,0$;

η_0 – световая характеристика окон, $\eta_0 \approx 40\%$ ($\eta_0 = 30\div 50\%$);

$K_{зд}$ – коэффициент, учитывающий затенение окон рядом стоящими зданиями, $K_{зд} = 1\div 1,7$;

τ_0 – общий коэффициент светопропускания. (учитывает оптическое свойство стекла, потери света в переплетах и пр.);

Для чистого оконного стекла $\rho = 0,08$, $\alpha = 0,02$, $\tau = 0,9$ принимаем (с учетом загрязнения) $\tau_o = 0,87$, для спаренных деревянных переплетов с 2-м остеклением, $\tau_o = 0,87 \cdot 0,75 = 0,65$;

r_1 – коэффициент, учитывающий отражение света при боковом освещении, $r_1 \approx 3,5$;

(Учтены коэффициенты отражения ограждающих конструкций).

Тогда, требуемая площадь окон:

$$\frac{S_o}{S_n} = \frac{e_N \cdot K_3 \cdot \eta_o \cdot K_{\partial}}{\tau_o \cdot r_1} \cdot 100 = \frac{0,9 \cdot 1,2 \cdot 0,4 \cdot 1}{0,6 \cdot 3,5} \approx 9 \%$$

$$S_o = 0,19 \cdot S_n = 0,19 \cdot 200 = 38 \text{ м}^2$$

Далее, уточняются размеры и количество блоков (в пределах допустимого), проверяется уровень естественной освещенности, можно рассчитывать по методу коэффициента использования:

$$E_{вн} = E_{ок} \cdot \eta \cdot \frac{S_o}{S_n} \text{ [лк]}.$$

Пусть наружная освещенность $E_{нар} = 3000$ лк (принимается в зависимости от световой зоны, либо измеряется), освещенность наружной поверхности окон $E_o = 30\%$, $\eta = 40\%$,

$$S_o / S_n = 19\% (1/ 5,25),$$

тогда:

$$E_{вн} = 3000 \cdot 0,3 \cdot 0,4 \cdot 0,19 = 68,4 \text{ лк}.$$

Если уровень освещенности недостаточный, то увеличивается площадь окон.

Например, требуется освещенность $E_{вн} = 150$ лк.

Используя выражение:

$$\begin{aligned} S_o / S_n &= E_{вн} / \eta \cdot K_o = 150 / (0,4 \cdot 900) = 0,42; \\ S_o &= 0,42 \cdot S_n = 0,42 \cdot 200 = 84 \text{ м}^2 \end{aligned}$$

Необходимые для расчета данные и графики приведены в соответствующей литературе и СНиП РК.

Светотехнические расчеты приведены в Приложении 1. Расчеты можно автоматизировать, используя специализированное программное обеспечение, например DIALUX.

6. Энергетический аудит

Повышения энергетической эффективности и улучшения состояния окружающей среды может быть достигнуто во всех основных элементах энергетической системы, на этапах производства, передачи и распределения, потребления. Расходы на энергию можно снизить за счет реализации различных энергетически эффективных мероприятий. Например, в освещении за счет применения экономичных источников света, автоматизации, применения новых технологий и возобновляемых источников энергии и др.

Под повышением энергоэффективности понимается: повышение энергетической эффективности конечного потребителя в результате технологических, поведенческих и/или экономических решений.

Мероприятия по повышению энергетической эффективности: это действия, которые ведут к проверяемому и измеряемому либо поддающемуся оценке повышению энергоэффективности.

Под экономией энергии понимается: объем сэкономленной энергии, определяемой по измеренному и/или оцененному энергопотреблению до и после реализации одного или более мероприятий по повышению энергоэффективности, при условии обеспечения требуемого уровня нормативных показателей. При разработке проекта по энергетической эффективности **преследуются три цели**: выявление потенциала повышения энергетической эффективности (ЭЭ потенциал); реализация выявленного потенциала повышения ЭЭ; достижение расчетного уровня экономии энергии и поддержание его на требуемом уровне.

Для каждого фактора следует оценить соответствующие мероприятия и рассчитать экономию энергии, инвестиции и рентабельность, ранжирование мероприятий в соответствии с их рентабельностью.

После выявления потенциала повышения энергоэффективности и согласования, необходимо реализовать выбранные рентабельные мероприятия. Если возможности финансирования ограничены, то в первую очередь нужно реализовывать наиболее рентабельные мероприятия (табл.6.1).

Для достижения последней цели эксплуатационный и обслуживающий персонал должен быть хорошо обученным и имеющим мотивацию для своей работы. После реализации мероприятий, неопытный персонал и отсутствие надлежащих процедур по эксплуатации и обслуживанию могут привести к росту энергопотребления в ближайшем времени. Поэтому система энергомониторинга является важным средством для обеспечения постоянного поддержания энергопотребления на должном уровне.

Таблица 6.1 – Влияние энергетического аудита

Трудность в использовании энергии	Энергетический аудит	Результат
<ul style="list-style-type: none"> – Снижение энергоинтенсивности – Потери электроэнергии в результате неэффективности оснащения – Трудности в нахождении встречного экологического плана – Трудности в оценке эффективности при использовании вторичных энергоресурсов 	<ul style="list-style-type: none"> - Контроль потерь энергии - Разработка плана модернизации и поведение экономического анализа - Представление модели оптимальной деятельности 	<ul style="list-style-type: none"> - Пересмотр капиталовложений для повышения энергосбережения - Повышение конкурентоспособности путем снижения энергетической стоимости - Повысить осведомленность об энергосбережении на общефирменном уровне

Управление проектом и обеспечение качества также являются необходимыми видами деятельности, которые обеспечивают необходимое качество в должное время и за соответствующую цену

Проект по энергетической эффективности должен разрабатываться поэтапно. Учитывая, что энергетический аудит электрического освещения чаще всего рассматривается в комплексе, предлагается порядок его проведения на примере методики ENSI:

- Идентификация проекта;
- Сканирование;
- Потенциал улучшения;
- Упрощенный аудит или детальный аудит;
- Бизнес план;
- Реализация (управление проектом и подготовка персонала);
- Эксплуатация (обслуживание и энергомониторинг).

Если собранная, в процессе идентификации, информация дает основание полагать, что проект перспективный, то выполняется сканирование.

Сканирование определяет реализуемость рентабельных мероприятий, с учетом общего потенциала энергосбережения, необходимых инвестиций и срока окупаемости. Если заказчик считает, что выявленные возможности экономии заслуживают внимания, то выполняется энергетический аудит. При проведении энергоаудита детально изучается существующая ситуация, предлагаемые мероприятия, возможности реализации и финансовый план. При необходимости внешнего финансирования инвестиций в проект разрабатывается бизнес-план. Реализация проекта осуществляется в соответствии с бюджетом, календарным планом, требованиями к качеству, законодательству и нормативно-правовой базе. Все это требует хорошего управления проектом. Кроме того, персонал ответственный за эксплуатацию и обслуживание должен быть обучен новым

системам и оборудованию. Хорошо разработанные мероприятия по эксплуатации и обслуживанию, энергомониторингу позволят поддерживать систему на требуемом уровне.

При проведении энергетического аудита следует руководствоваться «Правилами проведения энергоаудита» ПП РК от 31 августа 2012 г. № 1115. В которых предусмотрено три раздела: вводная часть; отчетная часть; заключительная часть. Содержание не противоречит вышеуказанным пунктам проведения энергетического аудита (ENSI).

С целью повышению энергетической эффективности объектов, зданий и сооружений требуется проводить энергетическое обследование (энергетический аудит) с реализацией следующих задач:

- сбор исходных данных по фактическому потреблению энергоресурсов и техническим характеристикам зданий методом анкетирования и натурных замеров, с использованием статистической обработки данных с целью исключения недостоверных сведений;
- оценка энергопотребления с определением общих и удельных показателей расхода электрической, тепловой энергии, требуемой на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и водоснабжение зданий;
- визуально-инструментальное обследование для оценки состояния и работоспособности приборов учета и систем энергопотребления;
- эффективность потребления энергоресурсов обследуемых объектов;
- тепловизионное обследование зданий для оценки теплозащитных характеристик наружных ограждающих конструкций, теплоаккумулирующей способности здания и выявления потерь энергии, вызванных дефектами строительных конструкций и неправильной регулировкой систем отопления и пр.;
- анализ характеристик объектов (данные по энергопотреблению с оценкой показателей энергоэффективности) и потенциала энергосбережения;
- разработка мероприятий по повышению энергетической эффективности объектов обследования;
- расчет энергетической эффективности объектов обследования, подготовка заключения с полной характеристикой, анализом и конкретными предложениями;
- подготовка энергетических паспортов объектов;
- оценка экономической эффективности предлагаемых мероприятий;
- экологические выгоды.

При проведении энергетического аудита электрического освещения, необходимо знать на какие параметры повлияют ЭЭ меры и как считать эффективность. Чаще всего используется три параметра: средняя мощность, максимальная единовременная мощность и время работы.

Ниже приведен пример ЭЭ мероприятий и параметры, на которые они влияют.

<u>ЭЭ мероприятия</u>	<u>Параметры ЭО</u>
<u>Установка энергоэффективной системы освещения</u>	<u>Средняя мощность</u>
<u>Постоянное управление уровнем освещенности</u>	<u>Средняя мощность</u>
<u>Установка системы автоматического управления</u>	<u>Средняя мощность</u>
	<u>Время работы</u>
<u>Управление от детекторов присутствия</u>	<u>Средняя мощность</u>
	<u>Время работы</u>

6.2 – Пример формы таблиц для сбора данных по электрическому освещению

Осветительные приборы	Мощность ламп (Вт)	Кол-во ламп на светил. (шт)	Мощность светил. (Вт)	Кол-во светил. (шт)	Итого (кВт)	Тип управления/коммент./ в действии с (год)/ состояние
Лампы накаливания						
люминесцентные						
Компактные лампы накаливания						
Прочее						
Итого						

Эксплуатация

Отключение освещения неиспользуемых помещений / Фотоэлементы / Инфракрасные датчики / Таймерное управление / Осветительные элементы / Регулярная чистка

Освещение

Всего, ср. удельная мощность (Вт/м ²)		Период работы (ч/неделя)	
Макс. удельная мощность (Вт/м ²)		Период работы (неделя/год)	

Возможные мероприятия, система освещения

<input type="checkbox"/> Установка энергоэффективной системы освещения	<input type="checkbox"/> Постоянный контроль уровня освещения
<input type="checkbox"/> Установка автоматической системы управления	<input type="checkbox"/> Детектор присутствия людей
<input type="checkbox"/> Руководство по эксплуатации и обслуживанию	<input type="checkbox"/> Улучшение коэффициентов отражения
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Прочее используемое	Кол-во (шт.)	Мощность единицы (Вт)	Общая мощность (кВт)	Удельная мощность (Вт/м²)	Период работы (ч/нед)	В действии с (год)	Комментарии
Компьютеры							
Копировальные маш.							
Другие (ТВ, радио)							
Другие (кухня)							
Другие (указать)							
Итого							

Возможные мероприятия, прочее оборудование	
<input type="checkbox"/> Контроль по ограничению мощности	<input type="checkbox"/> Информирование и обучение пользователей
<input type="checkbox"/> Отключение оборудования в нерабочий период	<input type="checkbox"/> Определение стандартов (класса энергопотребления) для нового оборудования
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Наружное оборудование	Общая мощность (кВт)	Время работы		Таймерное управление работой	В действии с (год)	Комментарии
		ч/нед.	нед/год			
Наружное освещение						
Лампы накаливания						
Натриевые лампы (HPSL, LPSL, др.)						
люминесцентные лампы						
Энергоэффективное освещение						
Нагреватели для автомобилей						
Прочее (фонтаны, скважины воды, орошение и т.д.):						
Система снеготаяния и антиобледенения открытых площадок						
	Охватываемая площадь (м²)			Заданное значение для вкл/выкл (°C)		

Возможные мероприятия, наружное оборудование	
<input type="checkbox"/> Контроль по ограничению мощности	<input type="checkbox"/> Автом. управление снеготаянием (°C)
<input type="checkbox"/> Таймерное управл. обогревателем двигателя	<input type="checkbox"/> Таймерное управление снеготаянием
<input type="checkbox"/> Установка фотоэлементов наружного освещения	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6.1. Методика проведения энергоаудита электрического освещения зданий и сооружений

При проведении энергетического аудита любых объектов, зданий и сооружений в обязательном порядке рассматривается электрическая составляющая энергопотребления, в которую входит и электрическое освещение. В некоторых случаях необходим энергетический аудит непосредственно электрического освещения с проведением светоаудита. Это связано с тем, что во многих случаях не обеспечиваются нормативные количественные и качественные параметры освещения (уровень освещенности, яркость, коэффициент пульсации и др.) отраженные в соответствующих документах (СНиП, СанПиН). Для определения соответствия этих показателей нормативам необходимо производить измерения и расчеты. Если реальные параметры освещения не соответствуют нормативам, их требуется привести в соответствие и только затем предлагать мероприятия по улучшению энергетической эффективности. Энергетический аудит электрического освещения предлагается проводить, используя **ниже приведенную методику**:

1. Оценка характеристик архитектурно-строительной части. (Состояние отражающих поверхностей – стен, потолка, пола и др. Определение коэффициентов отражения, зон имеющих недостаточный уровень освещенности, из-за наличия затеняющих предметов, колонн и пр.).

2. Характеристика технологического процесса и условий окружающей среды. Выяснить соответствие установленных источников света и светильников с учетом их назначения, светового распределения, конструктивного исполнения и экономической эффективности (выключатели, розетки и др.) условиям производства и среды.

3. Характеристика видов электрического освещения, применяемых на объекте (рабочее, технологическое, аварийное, охранное, дежурное) и оценка соответствия их нормативам (ПУЭ и СНиП РК 2.04-05-2002). При наличии аварийного освещения, которое подразделяется на «Освещение безопасности» и «Эвакуационное освещение» выяснить соответствие их нормативным документам (кроме выше указанных документов СН РК 4.04-23-2004).

4. Оценка систем электрического освещения, применяемых на объекте, в том числе системы аварийного освещения, их соответствие нормативным документам (СП РК 2.02-18-2005).

5. Выяснить соответствие уровня освещенности на рабочих местах, технологическом оборудовании, проходах (тоже, при наличии наружного освещения) обследуемого объекта нормативам. При необходимости оценить качественные характеристики (инструментальное обследование или расчет).

6. Определить критерий экономичности размещения светильников (коэффициент неравномерности или коэффициент минимальной освещенности) в пределах рабочих поверхностей или технологических зон в результате инструментального обследования или расчета (согласно СНиП, в зависимости от разряда работ.).

7. Оценить состояния, физического и морального износа светотехнического и вспомогательного оборудования, состояния электрических сетей, аппаратуры защиты и управления. Соответствие требованиям ПУЭ и ПТБ.

8. Оценить степень автоматизации электрического освещения (при наличии и наружного).

9. Выяснить соответствие применяемых систем освещения современным требованиям (к источникам света, светильникам, аппаратуре управления и защиты, правилам монтажа, эксплуатации и техники безопасности) и наличие УЗО.

10. Сбор сведений по электроснабжению: источники питания, уровни напряжения на вводе объекта и удаленного светильника, места установки вводных и распределительных устройств и др.(схема питания, соответствие требованиям).

11. Определение расчетных нагрузок существующей осветительной сети, ее соотношение в общей электрической нагрузке (если нет отдельного учета), определение удельной нагрузки и сравнение с рекомендуемыми значениями.

12. Анализ существующей ситуации, определение энергетически эффективного потенциала и предложения по ЭЭ мероприятиям.

Примечание: Электрическое освещение входит в состав энергетического аудита и проводится согласно существующим положениям и правилам по его проведению (см. документы РК).

В дальнейшем, правила проведения общего энергоаудита, можно использовать для освещения.

При необходимости оценки уличного освещения (тротуары, дороги и пр.), архитектурного освещения, освещения мостов, охранного освещения предлагается использовать выше приведенный порядок (с исключением некоторых пунктов).

6.2. Световой аудит электрического освещения

При проведении энергоаудита электрического освещения обязательно проводится оценка светотехнических характеристик осветительных установок (световой аудит).

Световой аудит – процедура независимой оценки параметров световой среды объекта с целью нахождения баланса между качественной/количественной и энергетической эффективностью (ЭЭ), а также определение мер по повышению ЭЭ и возможностей их реализации.

При проведении светового аудита предлагается использовать следующую методику (например, фирмы PHILIPS, методика не отличается от применяемой в РК и РФ), которая имеет три основных этапа:

- измерение световых величин



- индивидуальное консультирование и разработка светотехнического проекта



- светотехнический расчет и создание трехмерной визуализации в программе DIALux

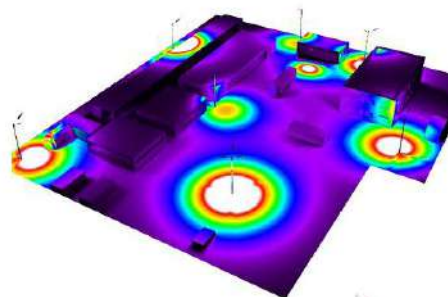
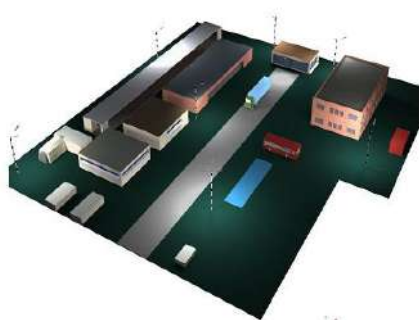


Рисунок 6.1 – Освещение территории, 3D визуализация (пример)

При отсутствии данной программы, расчеты электрического освещения могут проводиться согласно существующим методикам, либо в любой аналогичной этой программе (Приложение 2).

На первом этапе (измерение световых величин) проводится количественная и качественная оценка освещения: **измерение уровня освещенности, коэффициента пульсации светового потока, цветовой температуры и яркости.**

Для этого используются только поверенные приборы, внесенные в реестр РК. К отчету, в обязательном порядке, прикладываются копии актов о поверке измерительных приборов.

Для осуществления выше приведенных операций необходимы следующие средства измерения: люксметр, прибор для измерения пульсаций светового потока (пульсметр, или люксметр-пульсметр), спектроколориметр, прибор для измерения яркости (с требуемым классом точности).

На втором этапе светового аудита после измерений, обработки результатов, и анализа проводится консультация с заказчиком. Консультация может проходить как на стадии проектирования, так и на стадии строительства объектов. Заказчику предоставляются необходимые светотехнические сведения до внедрения, и после внедрения системы освещения. Предоставляется информация о характеристиках световой среды исследуемого объекта в сравнении со значениями, установленными государственными нормами и правилами РК. Предлагаются альтернативные системы освещения, которые могут повысить энергетическую эффективность.

Целью консультации является предоставление полной информации о предлагаемых системах освещения и выбор заказчиком индивидуального варианта.

После этого производится технико-экономический расчет.

При сравнении и оценке параметров осветительных установок используются нормативные документы, применяемые на территории РК (при отсутствии документов РК применяются МСН):

СНиП РК 2.04-05-2002* ЕСТЕСТВЕННОЕ И ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ;

Правила устройства электроустановок – ПУЭ РК, утверждены постановлением правительством РК и введены в действие с 28 апреля 2013 года;

СН РК В.2.5-18-2001 Инструкция по проектированию наружного электрического освещения городов, поселков и сельских населенных мест;

СН РК В.2.5-19-2001 Инструкция по проектированию силового и осветительного оборудования промышленных предприятий.


На последнем этапе разрабатывается светотехнический проект, в котором отражаются все решения по освещению объекта, подтвержденные необходимыми расчетами (приложение 2). Разрабатывается графическая часть (план помещений с размещением осветительного оборудования, тоже для наружного освещения). Чаще всего одного светотехнического проекта недостаточно, т.к. требуется реконструкция осветительных и питающих сетей. Поэтому, разрабатывается проект, состоящий из расчетно-пояснительной записки, в которую входит светотехническая и электрическая части, спецификаций и графической части (приложение 2).

Полный процесс проведения энергетического аудита электрического освещения (методика, порядок расчета, формулы) и примеры энергетически эффективных мероприятий приведены ниже.

6.3. Методика определения энергетической эффективности источников излучения

Энергетическая эффективность осветительных установок зависит от типа применяемых источников света, их характеристик, цветовой передачи, индекса цветопередачи. Поэтому требуется определять класс энергетической эффективности источников света. Однако, до настоящего времени не имеется единообразной методики определения класса энергетической эффективности источников излучения.

Зарубежные производители (например, Philips Lighting Turnhou) **используют следующую методику, которую предлагается принять за основу.**

	<p>Для класса А, люминесцентные лампы:</p>
	$W \leq 0,15 \sqrt{\Phi} + 0,0097 \Phi$
	<p>Для других источников света:</p>
	$W \leq 0,24 \sqrt{\Phi} + 0,0103 \Phi$
	<p>Где, W – мощность, Вт; Φ – световой поток, лм.</p>

Другие классы. Индекс энергоэффективности:

$$E_I = \frac{W}{W_R}$$

$$W_R = \begin{cases} 0,88 \sqrt{\Phi} + 0,049 \Phi, & \text{when } \Phi > 34 \text{ lumens} \\ 0,2 \Phi, & \text{when } \Phi \leq 34 \text{ lumens} \end{cases}$$

W_R – эталонная мощность

Таблица 6.3 – класс и индекс энергоэффективности

Класс	Индекс
B	Et < 60%
C	60% ≤ Et < 80%
D	80% ≤ Et < 95%
E	95% ≤ Et < 110%
F	110% ≤ Et < 130%
G	Et > 130%

Пример 1. Компактная люминесцентная лампа (КЛЛ) имеет характеристики: мощность, $P = 15$ Вт; световой поток, $\Phi = 850$ лм; срок службы, $T = 8000$ ч.; указан класс энергетической эффективности – А. Произведем проверку согласно предлагаемой методике. Для люминесцентных ламп: мощность должна быть $P \leq 0,15 \times 29,15 + 0,0097 \times 850 = 12,6$ Вт.

Данный источник излучения имеет мощность 15Вт. Значит КЛЛ не подходит под данный класс.

Проверим, по формуле для других источников:

$P \leq 0,24 \times 29,15 + 0,0103 \times 850 \leq 15,75$ Вт. В данном случае подходит класс А. (не смотря на то, что КЛЛ является газоразрядным источником света, расчет надо проводить по формуле для других источников).

Произведем расчет класса энергетической эффективности светодиодного источника излучения. Согласно каталогу компании ТМ ASD (Россия), производящей светодиодную продукцию, источник излучения типа LED – А60 (светодиоды типа SMD, форма как у л.н.) имеет характеристики: мощность – 15 Вт; световой поток – 1200 лм; световая отдача – 80 лм/Вт; срок службы – 30000 ч.; класс энергетической эффективности – А.

Согласно формуле, для других источников (класс А):

$P \leq 0,24 \times 34,6 + 0,0103 \times 1200 \leq 20,66$ Вт (проверяемый источник – 15Вт), что соответствует действительности.

(При определении, класса энергетической эффективности необходимо точно знать к какому виду относятся источники излучения).

Пример 2.

Сравнительный анализ некоторых источников видимого излучения.

Источник излучения	Тип	Мощность (Вт)	Световой поток (лм)	Световая отдача (лм/Вт)	Световой КПД (%)	Средний срок службы (час.)	Комментарии
Лампа накаливания	A55 Philips	100	1340	13,4	1,97	1000	Не ЭЭ, но не критична, к изменению напряжения, в эксплуатации не сложна
Люминесцентная лампа	ЛБ 36	36	3050	84,7	12,46	12000	У большинства источников $H = 80$ и менее, срок службы не более 20000 ч. Требования по напряжению и условиям среды.

Компактная люминесцентная лампа (КЛЛ)	F34BX ТБЦ	34	2800	82,3	12,1	10000	У большинства источников световая отдача ниже 80
Светодиодная LED	LED –A 60 TM ASD (Россия)	15	1200	80	11,76	30000	Световая отдача 80 и выше. Срок службы более других. Световой КПД не более других ЭЭ ламп.
Натриевая лампа низкого давления	SOX –E Philips	26	3600	139	20,44	18000	Лучшая световая отдача и световой КПД. Срок службы ниже LED.

Световая отдача определяется по известной формуле: $H = \Phi/P$ [лм/ Вт]. Световой КПД находится через световую отдачу и коэффициент $K_{\max} = 680$ лм, при мощности в один Вт и длине волны 555 нм (см.гл.4):

$\eta = (H/ 680) \times 100\%$. Таким образом, при хорошей световой отдаче и сроке службы, LED имеют световой КПД, не превышающий другие ЭЭ источники света. Поэтому, при оценке энергетической эффективности источников следует рассматривать и световой КПД.

6.4. Способы экономии электроэнергии на освещении

Существует множество рекомендаций по способам экономии энергии в освещении, но все они сводятся к общим показателям. Международная комиссия по освещению (МКО) предлагает, без ущерба для качества освещения, следующий комплекс мероприятий:

- анализ зрительной задачи с целью определения ее сложности и длительности, с учетом зрительного восприятия в зависимости от возраста работающего и других факторов;
- обеспечение необходимой освещенности для данной зрительной задачи в проектных решениях;
- выбор наиболее экономичных источников света;
- выбор эффективных светильников, обладающих необходимыми характеристиками светового распределения и нужным конструктивным исполнением;
- увеличение коэффициентов отражения поверхностей помещений для повышения коэффициента использования осветительной установки;
- обеспечение гибкости управления осветительными сетями, позволяющего отключать отдельные участки или уменьшать освещенность в случае необходимости;
- совместное использование систем естественного и искусственного освещения;

- организацию соответствующих режимов обслуживания, включающую периодическую чистку светильников и поверхностей помещения, а также замену ламп.

Можно добавить, применение новых технологий и использование возобновляемых источников энергии для целей освещения.

Экономия электроэнергии на освещение может быть получена за счет: совершенствования систем освещения; использования эффективных источников света; правильного выбора и рационального размещения светильников и применения новых осветительных приборов и устройств; организации управления освещением и его автоматизации; рационального построения осветительных сетей; введения планомерной эксплуатации освещения.

Рациональное использование электроэнергии и затрат на нужды освещения может быть обеспечено в основном за счет: оптимизации светотехнической части осветительных установок; оптимизации осветительных сетей и систем управления и регулирования освещения; рациональной организации эксплуатации освещения. Оптимизация светотехнической части осветительных установок заключается в обосновании выбора средств и способов освещения. Одной из важных проблем, определяющей экономичность внутреннего освещения, является выбор системы освещения [17, 19]. Значительную экономию можно получить за счет оптимизации параметров электрических установок. За счет снижения коэффициента запаса можно сэкономить 6 до 20%. Применение КОУ со ЩСС может дать экономию 15-25%. Автоматизация управления освещением дает экономию в пределах 10-20%. Автоматизация систем уличного освещения может дать до 50% экономии. Еще один параметр на который указывалось ранее, перенапряжение в осветительных сетях, что приводит к перерасходу электрической энергии и снижению срока службы источников света. Установка ограничителей напряжения может дать экономию в пределах 15% от общего расхода на освещение. В таблице 12.2 приведены мероприятия и возможная экономия [19].

Таблица 6.4. – Потенциал экономии электроэнергии при совершенствовании ОУ [19]

Мероприятие	Экономия ЭЭ, %
Переход на светильники с эффективными источниками излучения (в среднем):	20-80
использование энергетически экономичных ЛЛ	10-15
использование КЛЛ (при прямой замене ЛН)	75-80
переход от ламп ДРЛ на лампы НЛВД	50
улучшение стабильности характеристик ламп (снижение коэффициента запаса ОУ)	20-30
Снижение энергетических потерь в ПРА:	
применение электромагнитных ПРА с пониженными потерями (для ЛЛ)	30-40
применение ЭПРА	70

Применение светильников с правильно выбранными КСС и высоким КПД	15-20
Применение световых приборов оптимального конструктивного исполнения с повышенным эксплуатационным КПД (снижение коэффициента запаса на 0,2-0,3)	25-45
Применение современных схем управления в энергосберегающем варианте (современные ИС, ОП, ПРА) в зависимости от времени эксплуатации в течение суток	40-70
Использование локализованного освещения в зависимости от доли вспомогательной площади помещения	до 40
Использование комбинированной системы освещения в зависимости от сложности зрительных задач	15-50

6.5. Методика определения энергоэффективности электрического освещения

В предыдущих разделах рассмотрены основные мероприятия при проведении энергетического аудита, способы экономии, рекомендуемые мероприятия и возможная экономия. При определении потенциала экономии энергии используются известные методы расчета, которые приводятся в соответствующей литературе и приложениях 1.2. С целью облегчения работы аудитора предлагается ниже приведенная методика расчета, которая принимается в качестве типовой и при необходимости, может быть дополнена и расширена. Данная методика основана на известной литературе в области светотехники и электрического освещения [13,14,16,17,19] .

На этапе идентификации и сканирования уже необходимо определять установленную и расчетную мощности, а также потребление энергии.

Методика расчета необходимых параметров ОУ приведена ниже.

Установленная мощность для одного помещения, Вт:

$$P_i = P_{\text{л}} \cdot K_{\text{пра}} \cdot N$$

где P_i — мощность осветительной установки i -го помещения;
 $K_{\text{пра}}$ — коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре;
 $P_{\text{л}}$ — мощность лампы;
 N — количество ламп в осветительной установке i -го помещения.

Годовое фактическое энергопотребление для всего объекта, кВтч:

$$W_{\Gamma} = \sum_{i=1}^n W_{\Gamma_i} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot T_{\Gamma_i} \cdot k_{\text{и}_i}$$

где W_{Γ} — суммарное годовое потребление электроэнергии;
 W_{Γ_i} — годовое потребление электроэнергии ОУ i -го помещения, кВтч;
 T_{Γ_i} — годовое число часов работы ОУ i -го помещения, ч;
 $k_{\text{и}_i}$ — коэффициент использования установленной электрической мощности ОУ i -го помещения (имеет смысл коэффициента одновременности, $k_{\text{и}_i}=1$, при одновременной работе всех ОП).

Примечание: при расчете потребления электрической энергии для крупных объектов можно использовать не установленную мощность, а расчетную. Так как, даже в одном производственном помещении не все осветительные приборы работают одновременно. Тем более на крупном объекте, что и учитывается коэффициентом спроса. При необходимости строятся соответствующие графики нагрузок, находятся средняя, максимальная мощности и время работы (см.п. 1.1). Коэффициенты спроса приводятся в соответствующей литературе (находятся в пределах 1 и ниже, в зависимости от количества помещений объекта). Тогда расчетная мощность будет равна:

$$P_p = P_y \cdot k_c, [\text{Вт}].$$

Годовое потребление электрической энергии объекта, кВтч / год, может быть определено с использованием удельной мощности:

$$W_r = 0,001 \sum P_{уд.i} \cdot S_i \cdot T_{r_i},$$

где S_i – площадь i – го помещения, м^2 ;
 $P_{уд}$ – удельная мощность i – го помещения, Вт/м^2 ;

Удельная установленная мощность для одного помещения определяется согласно выражению, Вт/м^2 :

$$P_{уд.i} = P_{св} \cdot N_{св} / S_i,$$

где $P_{св}$ – мощность светильника, Вт (при наличии, учитываются потери в ПРА);
 $N_{св}$ – количество светильников в помещении, шт.

Удельная мощность по всему объекту определяется с использованием установленной или расчетной мощности.

Удельное энергопотребление, кВтч/ м^2 :

$$W_{r_{уд}} = \frac{W_r}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

где $W_{r_{уд}}$ – годовое удельное потребление электроэнергии, кВтч;
 S_i – площадь i -го помещения в исследуемом объекте, м^2 .

Удельные показатели энергопотребления (кВтч/м^2) или установленной мощности (Вт/м^2), при известных нормативных показателях, позволяют приблизительно ($\pm 20\%$) оценить общий потенциал экономии энергии.

Удельная мощность, Вт/ м²:

$$P_{уд} = \sum P_i / \sum S_i .$$

После оценки энергетического потенциала выполняются более точные расчеты.

Как указывалось ранее, необходимо оценить уровни освещенности помещений объекта обследования и сравнить с нормативными значениями, при этом надо учесть уровни напряжения питающей сети.

Таблица 6.5 – Рекомендуемые значения удельной мощности для общественных зданий [18]

Освещенность, лк	Индекс помещения	Удельная Мощность, Вт/м²	Освещенность, лк	Индекс помещения	Удельная Мощность, Вт/м²
500	0.6	42	400	0.6	30
	0.8	39		0.8	28
	1.25	35		1.25	25
	2.0	31		2.00	22
	3.0 и более	28		3.0 и более	20
300	0.6	25	200	0.6 – 1.25	18
	0.8	23		1.25 – 3.0	14
	1.25	20		Более 3.0	12
	2.0	18			
	3.0 и более	16			
150	0.6 – 1.25	15	100	0.6 – 1.25	12
	1.25 – 3.0	12		1.25 – 3.0	10
	Более 3.0	10		Более 3.0	8

Таблица 6.6 – Рекомендуемые значения удельной мощности для производственных зданий [18]

Освещенность, лк	Индекс помещения	Удельная Мощность, Вт/м²	Освещенность, лк	Индекс помещения	Удельная Мощность, Вт/м²
750	0.6	37	400	0.6	15
	0.8	30		0.8	14
	1.25	28		1.25	13
	2.0	25		2.00	11
	3.0 и более	23		3.0 и более	10
500	0.6	35	300	0.6	13
	0.8	22		0.8	12
	1.25	18		1.25	10
	2.0	16		2.00	9
	3.0 и более	14		3.0 и более	8
200	0.6 – 1.25	11	150	0.6 – 1.25	8
	1.25 – 3.0	7		1.25 – 3.0	6
	Более 3.0	6		Более 3.0	5
100	0.6 – 1.25	7			
	1.25 – 3.0	5			
	Более 3.0	4			

Примечание: Для помещений имеющих другие размеры и освещенности значения удельной мощности определяются интерполяцией.

Фактическое среднее значение освещенности с учетом отклонения напряжения в сети от номинального, лк:

$$E_{\phi} = \frac{E'_{\phi} \cdot U_n}{U_n - k(U_n - U_{cp})}$$

где E'_{ϕ} — измеренная фактическая освещенность, лк;

k — коэффициент, учитывающий изменения светового потока источника, при отклонении напряжения питающей сети (для ЛН $k=4$; для ГЛ $k=2$);

U_n — напряжение сети необходимое для работы источников света в номинальном режиме, согласно их технических характеристик, В;

U_{cp} — среднее фактическое значение напряжения сети, $U_{cp} = (U_1 + U_2)/2$;

(U_1 и U_2 — значения напряжения сети в начале и конце измерения), В.

С целью определения отклонения фактической освещенности от нормативных значений определяется коэффициент приведения (учитывается при расчете потенциала годовой экономии):

$$k_{ni} = E_{\phi i} / E_{ni}$$

где k_{ni} — коэффициент приведения освещенности i -го помещения;

E_{ni} — нормируемое значение освещенности в i -ом помещении;

$E_{\phi i}$ — фактическое значение освещенности в i -ом помещении.

Потенциал годовой экономии электроэнергии, кВтч/год:

$$\Delta W_{\Gamma} = \sum_{i=1}^n k_{n_i} \cdot \sum_{k=1}^f \Delta W_i^k$$

где W_i^k — потенциал экономии электроэнергии для i -го помещения и k -го мероприятия, кВтч/год.

В предыдущем разделе 12.5 и в таблице 12.3 приведены основные мероприятия по экономии электрической энергии в освещении. Ниже приводится методика определения энергетического потенциала для этих мероприятий [19,40].

Переход на другой тип источника излучения с лучшими характеристиками. Экономия электроэнергии при использовании данного мероприятия определяется по формуле, кВтч/год:

$$\Delta W = W \cdot \Gamma_i (1 - k_{\text{исц}} \cdot k_{\text{зп}}),$$

где $k_{\text{исц}}$ — коэффициент эффективности замены типа источника излучения;
 $k_{\text{зп}}$ — коэффициент запаса учитывающий снижение светового потока лампы в течение срока службы.

Коэффициент эффективности замены источника излучения

$$k_{\text{исц}} = H / H_n$$

где H — световая отдача существующего источника излучения, лм / вт;
 H_n — световая отдача предлагаемого источника излучения, лм / вт.

Примечание: надо иметь в виду, что при этом должно соблюдаться равенство световых потоков. В противном случае, для обеспечения требуемой нормируемой освещенности (если освещенность была в норме), потребуются корректировка количества световых точек. Если освещенность не отвечала требованиям, то необходим расчет одним из методов (приложение 3).

Чистка светильников, приводит к повышению КПД существующих осветительных приборов.

Экономия электроэнергии в результате применения данного мероприятия определится по выражению, кВтч/ год:

$$\Delta W_i = W \cdot \Gamma_i \cdot k_{\text{чи}}$$

где $k_{\text{чи}}$ — коэффициент эффективности чистки светильников.

$$k_{\text{чи}} = 1 - (\gamma_c + \beta_c e^{-(t / t_c)})$$

где γ_c , β_c , t_c — постоянные для заданных условий эксплуатации светильников;
 t — продолжительность эксплуатации светильников между двумя ближайшими чистками.

Повышение эффективности ОУ за счет отражающих поверхностей.

Улучшение коэффициентов отражения поверхностей помещений до 20%, за счет правильной эксплуатации объекта (покраска в светлые тона, побелка, мойка) позволяет сэкономить 5-15% электроэнергии, вследствие увеличения отражающей составляющей от естественного и искусственного освещения.

Эффективность данного мероприятия зависит от многих факторов: размеров и отражающих поверхностей помещения (индекс помещения, коэффициенты отражения), расположение и состояние световых проемов и фонарей (уровень естественной освещенности, коэффициент естественной освещенности, КЕО), технологический процесс и режим работы, световое распределение и расположение светильников (КСС и оптимальное размещение).

Для разработки ЭЭ мероприятий и определения экономии электроэнергии необходимо производить светотехнические расчеты и измерения.

Повышение эффективности ОУ при автоматизации управления освещением.

Эффективность данного мероприятия является многофакторной, методика расчета экономии электроэнергии, представлена в [19,40], может быть использована для более точной оценки.

На основании опытных данных внедрения систем автоматизации, экономию от данного мероприятия можно определить по следующей формуле, кВтч/год:

$$\Delta W_i = W_{\Gamma i} \cdot (k_{\text{эai}} - 1),$$

где $k_{\text{эai}}$ — коэффициент эффективности автоматизации управления освещением, который зависит от уровня сложности системы управления.

В таблице 6.7 представлены значения $k_{\text{эai}}$ для предприятий и организаций с обычным режимом работы (1 смена).

Таблица 6.7 – Значения коэффициента эффективности автоматизации

№ п.п.	Уровень сложности системы автоматического управления освещением	$k_{\text{эai}}$
1	Контроль уровня освещенности и автоматическое включение, отключение системы освещения при критическом значении Е	1,1 – 1,15
2	Зонное управление освещением (включение и отключение освещения дискретно, в зависимости от зонного распределения естественной освещенности)	1,2 – 1,25
3	Плавное управление мощностью и световым потоком светильников в зависимости от распределения естественной освещенности	1,3 – 1,4

Использование энергоэффективной пускорегулирующей аппаратуры.

Экономию от данного мероприятия можно определить по следующему выражению, кВтч/год:

$$\Delta W_i = W_{\Gamma i} \cdot (1 - K_{\text{Нпраi}} / K_{\text{праi}}),$$

где $K_{\text{праi}}$ — коэффициент потерь в ПРА существующей системы освещения i-го помещения;

$K_{\text{Нпраi}}$ — коэффициент потерь в предлагаемых (новых) ПРА.

Замена светильников является эффективным комплексным мероприятием, так как включает в себя и замену источников излучения, повышение КПД светильников, возможно изменение светового распределения светильников и их расположения, (для начала необходимо рассмотреть возможность замены источников излучения на более экономичные).

Для точной оценки экономии электроэнергии необходимо провести светотехнический и электрический расчет, одним из методов. По расчетному значению установленной мощности (расчетной мощности) можно определить возможность экономии электроэнергии, кВтч/год;

$$\Delta W_i = W_{\Gamma i} - P_{Ni} \cdot T_{\Gamma i}$$

где P_{Ni} — установленная мощность новых светильников;
 $T_{\Gamma i}$ — годовое число часов работы системы искусственного освещения i-го помещения.

При упрощенной оценке (замена светильников на аналогичные светильники) расчет производится по следующей формуле, кВтч/год:

$$\Delta W_i = W_{\Gamma i} \cdot (1 - k_{исл} \cdot k_{эп} \cdot k_{ч} \cdot k_{св} \cdot K_{Nпра} / K_{пра}),$$

где $k_{св}$ — коэффициент учитывающий повышение КПД светильника;
 — остальные коэффициенты приведены ранее.

Коэффициент учитывающий повышение КПД светильников, кВтч/год:

$$k_{св} = q_i / q_{iN},$$

где q_i — паспортный КПД существующих светильников;
 q_{iN} — паспортный КПД предполагаемых светильников.

В случае большого числа однотипных помещений, со схожими параметрами, состоянию и мероприятиям ОУ, расчет можно провести по удельным показателям экономии электроэнергии, кВтч/год:

$$\Delta W_{уд j} = \Delta W_{ij} / S_{ij}$$

где $\Delta W_{уд j}$ — удельная экономия электроэнергии для j-типа помещения;
 ΔW_{ij} — расчетная экономия электроэнергии для i-го помещения;
 S_{ij} — площадь i-го помещения.

Общая экономия электроэнергии в системах освещения обследуемого объекта определяется по формуле, кВтч/год:

$$\Delta W_{\Gamma} = \sum_{j=1}^N \Delta W_{уд}^j \cdot S^j$$

где S_j — общая площадь помещений j-го типа;
 N — количество однотипных помещений.

ПРИМЕР:

Рассмотрим административное здание, освещение одного из помещений которого выполнено светильниками типа ЛПО 02 2x40, с КПД = 52%. Светильники комплектуются источниками света типа ЛБ 40, световой поток $\Phi = 3200$ лм, световая отдача $H = 80$ лм/Вт. Режим работы в 1 смену (с 8 до 17 часов). Количество светильников 16 штук. Размеры помещения 15x5x3 метра. Средневзвешенный коэффициент отражения поверхностей помещения $\rho = 0,3$, нормированная освещенность 300 лк. Фактическая освещенность 250 лк. Количество часов работы искусственного освещения в год $T_{\Gamma} = 1300$ часов. Напряжение сети во время измерений $U_c = 220$ В. Коэффициент естественной освещенности соответствует норме, коэффициент использования 0,92. Последняя чистка светильников производилась год назад. (Следует либо привести освещенность к норме, или учесть это в расчетах экономии).

Расчет:

Установленная мощность

$$P = P_{\text{л}} \cdot K_{\text{пра}} \cdot N = 40 \cdot 1,25 \cdot 32 = 1600 \text{ Вт}$$

Годовое энергопотребление

$$W_{\Gamma} = P \cdot T_{\Gamma} \cdot k_{\text{и}} = 1600 \cdot 1300 \cdot 0,92 = 1914 \text{ кВтч/год}$$

Возможная экономия при использовании люминесцентных ламп пониженной мощности типа TL-D 36/865 (T8), $\Phi = 3250$ лм, $H = 90$ лм/Вт (надо производить подбор источника с требуемым световым потоком, с лучшей световой отдачей, в противном случае требуется расчет):

$$\Delta W_1 = W_{\Gamma} (1 - k_{\text{ис}}) = 1914 (1 - 0,89) = 210 \text{ кВтч/год}$$

Экономия за счет чистки светильников,

$$k_{\text{чи}} = 1 - (g_c + b_c e^{-(t/t_c)}) = 1 - (0,90 + 0,02) = 0,08$$
$$\Delta W_2 = W_{\Gamma} \cdot k_{\text{ч}} = 1914 \cdot 0,08 = 153 \text{ кВтч/год}$$

Экономия энергии при повышении коэффициента отражения поверхностей помещения до $\rho = 0,5$ (покраска, побелка) составит 10% или $\Delta W_3 = 191$ кВтч/год;

Экономия энергии в результате внедрения системы автоматического включения и отключения освещения

$$\Delta W_4 = W_{\Gamma} (k_{\text{за}} - 1) = 1914 \cdot (1,1 - 1) = 191 \text{ кВтч/год};$$

Экономия энергии вследствие установки электронных ПРА с $K_{\text{пра}} = 1,1$

$$\Delta W_5 = W_{\Gamma} (1 - K_{\text{пра}} / K_{\text{пра}}) = 1914 \cdot (1 - 0,88) = 230 \text{ кВтч/год};$$

Экономия за счет установки новых светильников с более высоким КПД = 84%, с аналогичным светораспределением, типа BAT+ RW 236 или LNB 236

$$\Delta W_6 = W_{\Gamma} (1 - k_{св}) = 1914 \cdot (1 - 0,52/0,84) = 729 \text{ кВтч/год};$$

Общий резерв экономии энергии составит:

$$\Delta W = k_n \cdot \sum \Delta W_i^k = 250/300 \cdot 1604 = 1337 \text{ кВтч/год}.$$

(250 лк – освещенность фактическая, 300 лк – освещенность нормируемая, которую надо обеспечить; для этого потребуется затратить дополнительное количество энергии)

6.6. Методика энергетического обследования систем электрического освещения

При проведении энергетического обследования необходимо решить следующие задачи [17,19]:

- определить соответствие ОУ требованиям ПУЭ РК, СанПин РК, СНиП РК 2.04-05-2002, СН РК 4.04-23-2004, СП РК 2.02-18-2005;
- оценить реальное потребление и выявить резервы экономии электрической энергии в системах освещения;
- оценить техническое состояние ОУ, вспомогательного оборудования и сетей, состояние световых проемов и уровень естественного освещения, эффективность использования искусственного освещения, наличие и работу систем автоматического управления электрического освещения;
- выявить и оценить потенциал экономии электрической энергии (ЭЭ) в системах электрического освещения;
- разработать мероприятий по реконструкции систем освещения, обеспечивающих оптимальное освещения рабочих мест (согласно нормативам) и снижение потребления ЭЭ;
- определить уровень рационального потребления электрической энергии для освещения объекта;
- разработать требования к ОУ в соответствии с ее функциональным назначением, характером технологического процесса и видом зрительной работы производства;
- разработать мероприятия по эксплуатации и энергетическому мониторингу ОУ с обучением обслуживающего персонала.

Энергетическое обследование ЭО может быть двух видов: экспресс-обследование и детальное (углубленное) обследование.

Экспресс-обследование проводится с целью: оценки состояния систем освещения объекта; укрупненной оценки неэффективного использования электрической энергии; определения основных направлений снижения энергетических затрат и оплаты за электрическую энергию.

Результаты энергетического обследования фиксируются в энергетическом паспорте предприятия. По результатам этого этапа предприятию выдается акт-предписание об устранении нарушений при использовании электрической энергии для освещения. Предлагаются мероприятия по повышению эффективности использования электрической энергии в системах освещения.

(Необходимо разработать «Правила проведения энергетического обследования предприятий (организаций)»; в них должны быть отражены порядок проведения, содержание и форма экспресс-обследования; например, в РФ этот этап соответствуют предписаниям разделов 5.2 и 5.3 «Правила проведения энергетических обследований организаций»).

При проведении экспресс-обследования предлагается следующий порядок:

- получение информации об объекте обследования согласно имеющимся документам и схемам; тип и площади помещений, разряд зрительной работы, графики работы ОУ, характеристики и параметры ОУ, источники питания, электрические питающие и групповые сети освещения и др.;
- осмотр действующих ОУ и выявление несоответствий;
- эксплуатация ОУ; сроки проведения реконструкции систем освещения (если проводилась), сроки эксплуатации осветительных приборов (ОП) и пр.;
- применение в ОУ неэффективных осветительных приборов; использование устаревших ПРА с большими потерями;
- применение низкоэффективных источников излучения;
- запыленность или визуально различимое уменьшение оптических свойств, прозрачных и отражающих оптических элементов ОП; (в результате физического старения и при длительном сроке эксплуатации ОУ без текущих регламентных работ;
- нерациональное размещение ОП относительно рабочих мест, отсутствие местного освещения (если оно необходимо в соответствии с разрядом зрительной работы);
- отсутствие автоматического управления ОУ с длительным периодом работы в течение суток в помещениях, потенциально имеющих высокий уровень естественного освещения.

Детальное (углубленное) обследование ставит своей целью выявление резервов экономии электрической энергии в электрическом освещении объекта и способов их реализации. По результатам углубленного энергетического обследования проводится анализ фактических и нормативных затрат энергии на освещение, оценивается возможный потенциал энергосбережения при использовании энергосберегающих мероприятий. Разрабатываются энергетически эффективные мероприятия и инженерно-технические решения. Углубленные энергетические обследования могут завершиться подготовкой энергетического паспорта систем освещения предприятия, либо разработкой и внедрением светотехнического проекта.

Детальное энергетическое обследование проводится в три этапа:

- **первый этап** энергетического обследования является подготовительным, для 2 и 3 этапов, и ставит своей целью сбор информации по обследуемому объекту (тип зданий и помещений, их характеристики, тип электрических сетей освещения, характеристики и параметры ОУ и на основе предоставленных документов, беседа с руководителями и осмотр объекта);

- **второй этап** энергетического обследования предназначен для получения детальной информации об эффективности использования ЭЭ в ОУ с помощью инструментального обследования; результаты инструментального обследования позволяют определить соответствие энергопотребления в осветительных системах нормативным требованиям, рассчитать потенциал энергосбережения в ОУ предприятия, составить основу для разработки мероприятий по энергосбережению в ОУ предприятия, выполнить анализ эффективности использования ЭЭ на цели освещения и технико-экономическое обоснование мероприятий по энергосбережению в ОУ;

- **третий этап** энергетического обследования включает в себя обработку и анализ информации, полученной в результате документального и инструментального обследования с целью разработки технико-экономического обоснования и инженерно-технических решений, дающих основание для разработки комплексной программы реализации энергосбережения в системах освещения. Третий этап представляет собой разработку программы организационных и технических энергетически эффективных мероприятий в ОУ предприятия (см.ПП РК № 1115).

7. Энергетический аудит наружного освещения

Одним из способов экономии энергетических ресурсов является рационализация электропотребления в осветительных установках, в том числе уличного освещения. К концу 90-х годов в промышленно развитых странах на освещение расходовалось до 20% вырабатываемой электроэнергии (из них около трети – в промышленных осветительных установках). Анализ систем уличного освещения города Алматы показал, что электроэнергия, расходуемая на нужды освещения, часто используется нерационально. Применяются неэффективные источники света, а выбор светильников по светотехническим характеристикам и их размещению не всегда обоснован. Не ведутся систематические обоснованные мероприятия по повышению энергоэффективности освещения. Чистка установок наружного освещения производится эпизодически без планирования, что может привести к потере светового потока до 75%. Успех повышения энергоэффективности уличного освещения зависит от технической обоснованности комплексных мероприятий по экономии электроэнергии и затрат на освещение, деятельности энергоменеджеров, а также системности внедрения этих мероприятий.

Технический прогресс и специфика осветительных систем требуют специальной подготовки аудиторов для уличного освещения.

Большое значение имеет вопрос подготовки и осведомленности персонала о мероприятиях по энергосбережению. Персонал должен знать и уделять должное внимание соблюдению правил эксплуатации осветительных установок. Персонал должен уметь разрабатывать и организовывать мероприятия по повышению энергоэффективности.

В настоящее время все страны с развитой энергетикой занимаются вопросами энергоаудита и энергоменеджмента. От качества подготовки данных специалистов зависит и эффективность мероприятий по энергосбережению. Программы подготовки энергоаудиторов и энергоменеджеров в различных странах различаются по содержанию и способам подготовки. *В целом можно выделить один важный момент – энергоаудит в освещении, а тем более в уличном освещении не выделяется в них в отдельную группу. Энергоаудит в освещении входит в общую систему энергоаудита.*

Энергоаудит уличного освещения могут проводить только специализированные организации, аккредитованные при МИНТ РК. Энергоаудиторы должны быть сертифицированы, с высшим образованием, уметь проводить анализ и расчеты потребления энергоресурсов светотехническим оборудованием, разрабатывать мероприятия по энергосбережению и иметь достаточные знания в освещении.

В рамках кадрового обеспечения системы энергосбережения необходимо совершенствование системы подготовки кадров в организациях высшего, технического и профессионального образования, путем

увеличения доли практического обучения. Подготовки кадров в области светотехники. Развитие форм повышения квалификации специалистов: промышленности, ЖКХ. Введением в энергетические специальности высшего и послевузовского образования Республики Казахстан образовательных программ, связанных с энергоаудитом, экспертизой энергосбережения и повышения энергоэффективности освещения, внедрению и организации системы энергоменеджмента.

Для успешного решения вопросов повышения энергоэффективности в уличном освещении необходимо в созданных центрах, осуществляющих подготовку энергоаудиторов и энергоменеджеров, разработать программу по их подготовке и провести широкомасштабные обучающие семинары для представителей промышленности и ЖКХ, как основных служб эксплуатирующих уличное освещение.

В любом производственном процессе под повышением эффективности понимается прирост производительности при сохранении (или снижении) уровня затрат при сохранении (или повышении) уровня производительности.

Продукцией осветительных установок является световой поток, падающий на рабочую поверхность. Характеризуется затратами, единовременных капитальных вложений на осветительные установки и расходами на их содержание.

В первую очередь, на замену источников света и на оплату электроэнергии. Оплата электроэнергии имеет особый смысл, так как, помимо плановой стоимости электроэнергии, определяющим является народнохозяйственное значение экономии электроэнергии осветительных установок, которая сводится к сокращению как непосредственно капитальных затрат, так и эксплуатационных расходов, т.е. к сокращению расхода электроэнергии.

Экономия электроэнергии в осветительных установках имеет большое значение в общем балансе электропотребления.

Экономия электроэнергии и затрат на уличное освещение может быть получена за счет: совершенствования систем освещения; использования эффективных источников света; правильного выбора, рационального размещения светильников, применения новых осветительных приборов и устройств; организации управления освещением и его автоматизации; рационального построения осветительных сетей; введения планомерной эксплуатации освещения и профилактических мероприятий.

Рациональное использование электроэнергии и затрат на нужды уличного освещения может быть обеспечено в основном за счет:

- оптимизации светотехнической части осветительных установок;
- оптимизации осветительных сетей и систем управления и регулирования освещения;
- рациональной организации эксплуатации освещения.

При этом, не допускается экономия электроэнергии в осветительных установках за счет отключения в рабочее время части светильников или использования источников света меньшей мощности (по сравнению с проектной), а также применения различных регуляторов, уменьшающих мощность, потребляемую осветительными установками.

Большой резерв экономии электроэнергии, расходуемой на уличное освещение, заложен в максимальной рационализации управления и регулирования освещением. Своевременное включение и выключение освещения с учетом существующего режима работы предприятия, согласование работы искусственного освещения с динамикой естественного освещения (с целью максимального использования последнего), а также обеспечение возможностей регулирования искусственного освещения в течение периода работы (динамическое освещение) позволяют получить значительную экономию электроэнергии.

Как показывает практика, и подтверждают многочисленные исследования, осуществление мероприятий по централизованному управлению освещением может обеспечить экономию 10-50% электроэнергии, расходуемой на уличное освещение.

Повышение эффективности использования электроэнергии на уличное освещение может быть достигнуто только при условии организации правильной эксплуатации освещения, поддерживающей основные показатели осветительных установок на необходимом техническом уровне. Без четко действующей службы эксплуатации любые самые совершенные осветительные установки быстро приходят в негодность и теряют свою начальную эффективность. Од-

ним из важных резервов экономии электроэнергии и затрат на эксплуатацию осветительных установок является нормализация режимов напряжения в осветительных сетях. Опыт работы осветительных установок самого различного назначения показывает, что в связи с неравномерностью графиков электрической нагрузки в осветительных сетях неизбежно возникает отклонение от номинального напряжения.

При превышениях напряжения резко возрастает мощность, потребляемая источниками света, а средний фактический срок службы ламп значительно уменьшается. Таким образом, перенапряжения приводят к экономическому ущербу, обусловленному перерасходом электроэнергии, потребляемой на уличное освещение, и сокращением срока службы источников света.

Значительный рост мощности, потребляемой лампами при повышении напряжения, требует уделять особое внимание вопросам изучения динамики изменения напряжения в осветительных сетях и способам борьбы с отрицательными последствиями отклонения напряжения от номинала.

Выбор того или другого способа зависит от конкретных условий, имеющих место на освещаемом объекте в течение длительного периода времени (года или более). Основными способами борьбы с перенапряжениями в настоящее время являются использование различных способов ограничения напряжения, а также применение источников света, рассчитанных на работу в режиме перенапряжения.

Анализ работы ограничителей напряжения в сетях освещения показывает, что экономия электроэнергии достигает 15% общего расхода энергии на освещение.

7.1 Осветительные приборы для наружного освещения

Источники света в осветительных установках для наружного освещения применяются в комплекте со светотехнической арматурой, предназначенной для концентрации и перераспределения излучаемого ими светового потока, защиты глаз водителей и пешеходов от чрезмерной яркости ламп, предохранения их от воздействия среды и механических повреждений, крепления и подключения к сети. Этот комплект называют осветительным прибором (ОП) или светильником.

Эффективность использования электроэнергии для освещения в значительной степени определяется номенклатурой и параметрами ОП, которые являются не только необходимыми функциональными, но и важными архитектурными и декоративными элементами в городской среде.

Классификация осветительных приборов осуществляется по многим признакам. К главным из них относятся основная светотехническая функция, условия эксплуатации, основное назначение и характер светораспределения. На рисунке 6.2 приведена классификация ОП по назначению [19]. Светораспределения характеризуется кривыми силы света (КСС) или фотометрическим телом.



Рисунок 7.1 – Классификация осветительных приборов по основному назначению.

7.2. Нормирование освещенности открытых пространств

Искусственное освещение в городской среде, где человек находится и выполняет определенные функции, осуществляется согласно действующим строительным нормам и правилам СНиП РК 2.04-05-2002 «Естественное и искусственное освещение».

Нормы освещенности дорожного полотна транспортных улиц приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Нормы освещенности дорожного полотна транспортных улиц

Категория объекта по освещению	Улицы, дороги и площади*	Наибольшая интенсивность движения транспорта в обоих направлениях, ед/ч	Средняя яркость покрытия, кд/м ²	Средняя горизонтальная освещенность покрытия, лк
А	Магистральные дороги, магистральные улицы общегородского значения	св. 3000	1,6	20
		св. 1000 до 3000	1,2	20
		от 500 до 1000	0,8	15
Б	Магистральные улицы районного значения	св. 2000	1,0	15
		св. 1000 до 2000	0,8	15
		св. 500 до 1000	0,6	10
		менее 500	0,4	10
В	Улицы и дороги местного значения	500 и более	0,4	6
		менее 500	0,3	4
		одиночные автомобили	0,2	4

Примечания:

1) средняя яркость покрытия скоростных дорог независимо от интенсивности движения транспорта принимается 1,6 кд/м² в черте города, 0,8 кд/м² вне города, а также на подъездах к аэропортам, речным и морским портам крупных городов;

2) средняя яркость или освещенность покрытия проезжей части, в границах транспортного пересечения в двух и более уровнях, на всех пересекающихся магистралях должна быть как на основной из них, так и на съездах и ответвлениях в черте города — не менее 0,8 кд/м², или 10 лк.

Таблица 7.2 - Нормы освещенности дорожных покрытий в пешеходных зонах и местных проездах

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк
Главные пешеходные улицы, непроезжие части площадей категории А и Б и предзаводские площади	10
Пешеходные улицы:	
в пределах общественных центров;	6
на других территориях	4
Тротуары, отделенные от проезжей части на улицах категорий: А и Б, В	4; 2*; 10
Посадочные площадки общественного транспорта на улицах всех категорий	10
Пешеходные мостики	100; 50
Пешеходные тоннели: днем; вечером и ночью	20
Лестницы пешеходных тоннелей вечером и ночью	6; 4; 2
Пешеходные дорожки бульваров и скверов, примыкающих к улицам категорий А; Б; В	

Территории микрорайонов	
Проезды: основные; второстепенные, в том числе тротуары-подъезды	4; 2
Хозяйственные площадки и площадки при мусоросборниках	2
Детские площадки в местах расположения оборудования для подвижных игр	10
Детские ясли-сады, общеобразовательные школы и школы-интернаты, учебные заведения	10
Групповые и физкультурные площадки	10
Площадки для подвижных игр зоны отдыха	
Проезды и подходы к корпусам и площадкам	4
Санатории, дома отдыха	
Въезд на территорию	6
Проезды и проходы к спальным корпусам, столовым, кинотеатрам и подобным зданиям	4
Центральные аллеи парковой зоны	4
Боковые аллеи парковой зоны	2
Площадки зоны тихого отдыха и культурно-массового обслуживания (площадки массового отдыха, площадки перед открытыми эстрадами и т.д.)**	10
Площадки для настольных игр, открытые читальни	10
Автозаправочные станции	
	20
Зона топливораздаточных колонок	
Зона технологических колодцев	10***
Остальная территория, имеющая проезжую часть	10
Подъездные пути с улиц и дорог:	10
категории А и Б;	6
категории В	
Автостоянки	
Открытые:	
на улицах всех категорий;	4
вне улиц платные;	4
в микрорайонах	2
Проезды между рядами гаражей боксового типа	4

* Норма распространяется также на освещенность тротуаров, примыкающих к проезжей части улиц категорий Б и В с переходными и низшими типами покрытий.

** Освещенность столов для чтения и настольных игр принимается по нормам освещенности помещений.

*** Нормируется минимальная освещенность на крышке колодца.

7.3. Порядок проведения энергоаудита наружного освещения

Проведение энергетического обследования систем наружного освещения имеет некоторые особенности. Основные положения проведения энергетического обследования систем наружного освещения приведены ниже:

- определение нормативных данных при проведении энергетического обследования ОУ наружного освещения, предусматривающих контроль параметров, характеризующих качественные показатели ОУ и обеспечивающих характеристики нормируемых СНиП :

- средняя освещенность покрытия объекта в зависимости от категории;
- средняя яркость покрытия объекта в зависимости от категории;
- равномерность распределения освещенности (яркости) дорожного покрытия;
- выполнение требований по ограничению слепящего действия.

Приведенные выше характеристики, позволяют дать качественную характеристику ОУ и ее соответствие СНиП, но этого не достаточно для оценки энергетической эффективности ОУ. Рекомендации по энергосбережению в ОУ разрабатываются с учетом комплекса показателей предприятия, технического решения ОУ и представляют собой оптимизацию ОУ по критерию энергетической экономичности.

Основные составляющие энергетической экономичности ОУ определяются по результатам инструментального обследования; Предлагается следующий порядок проведения инструментального обследования ОУ наружного освещения:

- измерение основных параметров систем освещения, необходимых для оценки эффективности использования электрической энергии (яркость и освещенность полотна дорожного или фасадного покрытия; потребляемое количество ЭЭ; характеристика источников света и светильников);
- оценка технического исполнения ОУ; измерения и расчеты, устанавливающие соотношение между световым потоком ОП, высотой и шагом осветительных опор, параметрами проезжей части;
- техническое состояние, степень износа элементов и всей системы освещения, соблюдение регламента обслуживания осветительных сетей, состояние питающей сети и качество электрической энергии в осветительных сетях;
- оценка эффективности установленных источников излучения, светильников и пускорегулирующих аппаратов. Долевое энергопотребление ПРА (и др. устройств) в общем потреблении электрической энергии в ОУ (другие данные).
- исправность аварийного освещения;
- наличие заземляющих устройств;
- состояние сетей и аппаратов управления согласно ПУЭ.
- разработка энергетически эффективных мероприятий и расчет потенциала экономии осветительной установки.

8. Примеры энергоэффективного освещения

По данным Международного энергетического агентства (МЭА), доля электрического освещения в мире составляет 19% от общего производства электроэнергии. На электрическое освещение необходимо столько энергии, сколько вырабатывается электростанциями, работающими на природном газе, и на 15% больше чем вырабатывается атомными электростанциями и ГЭС. В ценовом выражении, годовая стоимость таких услуг находится в пределах 360 миллиардов долларов, что примерно равняется одному проценту мирового ВВП. Таким образом, выработка энергии для освещения влечет за собой выбросы парниковых газов в объеме 1900 миллиона тонн CO₂ в год. Следует отметить, что не все эти цифры являются результатом выработки электрической энергии для целей освещения, сюда входит освещение на основе топлива, которое еще используется на территориях, не имеющих электрических сетей.

(По данным МЭА, 1,6 миллиарда человек не имеют доступа к электрическому освещению).

Таким образом, следует предполагать увеличения спроса на электрическое освещение. Если средний житель Северной Америки потребляет примерно 101 мегалюмен в час, то средний житель Индии потребляет всего 3 мегалюмена в час. Согласно существующим тенденциям экономического развития энергоэффективности можно прогнозировать повышение мирового спроса на искусственное освещение. По данным МЭА, к 2030 году следует ожидать его увеличения более 80%, хотя распределение все еще будет неравномерным. Если это произойдет и темп усовершенствования технологий не повысится, то мировой спрос на электрическое освещение достигнет 4250 млрд. кВт·час: это почти вдвое превышает объем производства электроэнергии всеми современными атомными электростанциями. Более того, без дальнейшего внедрения мер политики энергоэффективности ежегодные выбросы CO₂, связанные с освещением, возрастут почти до 3 млрд. тонн к 2030 году.

По оценкам Международного энергетического агентства, при условии, что конечные потребители будут применять энергетически эффективные источники излучения, средства управления и регулирования, что сэкономит им средства в течение всего жизненного цикла осветительных установок, то мировой спрос на электрическую энергию для целей освещения в 2030 году будет составлять 2618 млрд. кВт·час. Это почти то же, что в 2005 году. В результате этого возникает значительная экономия: 28 триллион кВтч электрической энергии и более 16 миллиардов тонн выбросов CO₂.

Отсюда вытекает однозначный вывод, о необходимости проведения политики энергосбережения в освещении и использования энергетически эффективных источников излучения для целей освещения.

Ниже приведены примеры использования энергетически эффективных источников излучения и систем освещения (по материалам Schneider Electric и др.).

Пример1. Экономия за счет отключения случайно оставленного или не нужного в данное время освещения.

Системы управления освещением позволяют сэкономить до **30%** электроэнергии.

Переход от традиционных систем освещения к энергетически эффективным системам – первый шаг к использованию энергосберегающих устройств, которые обеспечивают автоматическое включение и выключение освещения только в случае необходимости, в зависимости от использования помещения и/или степени освещенности.

Тип здания	Экономия	УчасткиздТипания	Возможная экономия	Участки
Школа	От 25 до 30%	Классы, зоны отдыха		
Офисное здание	До 42%	Вестибюли		
Больница	18%	Палаты		
Гостиница	20%	Номера, рестораны, вестибюли		

Пример 2. Контроль потребления электроэнергии и снижение энергопотребления.

Решение по управлению	Экономия	Годовое потребление, кВтч/м ²
Ручной выключатель	Базовая величина	19.5
Программируемое реле времени	10%	15.2
Датчик присутствия	20%	13.2
Диммеры с сумеречным датчиком	29%	12
Датчик присутствия с сумеречным датчиком	43%	9.6

Пример 3. Мероприятия по улучшению качества и снижению потерь электроэнергии позволяют получить экономию **до 10%**.

(повышение коэффициента мощности и снижение реактивной мощности).

Примеры приборов и устройств, необходимых для решения проблем энергосбережения.



Реле
выдержки
времени



Программируемое
реле
времени

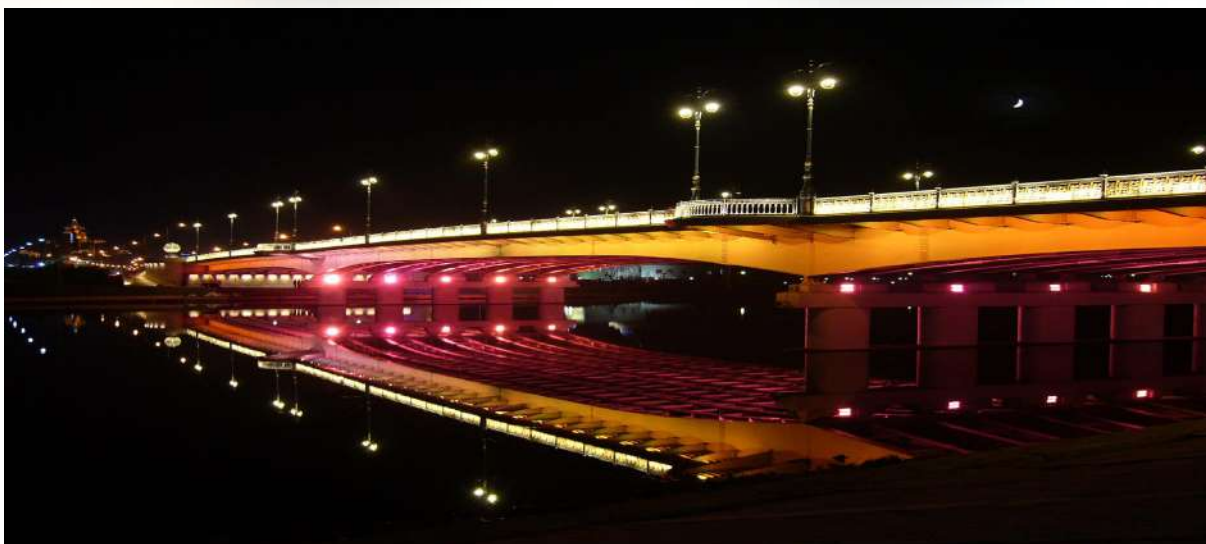


Датчик
движения



Диммер

Управление освещением: диммеры, таймеры, датчики движения и присутствия, выключатели, сумеречные датчики.



Автоматическое управление наружным освещением
в зависимости от времени суток и времени года (мост, г. Астана)

Сумеречные выключатели конфигурируются в зависимости от места установки с учетом географических координат. Время между восходом и заходом солнца регулируется в пределах ± 120 минут.

Локальное управление офисным освещением



Использование программируемого реле времени и импульсного выключателя обеспечивает локальное управление освещением офисных помещений при помощи кнопок. Централизованное управление осуществляется с помощью программируемого реле времени.

Оптимизация освещения помещений при помощи электронных световых регуляторов (диммеров).



Использование электронного светового регулятора (диммера) позволяет владельцу здания регулировать интенсивность освещения, а также управлять источниками света с одного или нескольких пунктов управления.

Освещение дорог



г. Астана

Архитектурное освещение



Хан-Шатыр, г. Астана

Освещение промпредприятий



Освещение торговых залов



Освещение цеха



Освещение склада



Системы светодиодного освещения

Освещение офиса



Светодиодные источники излучения



Архитектурное освещение



Освещение торгового центра



Освещение зала аэропорта



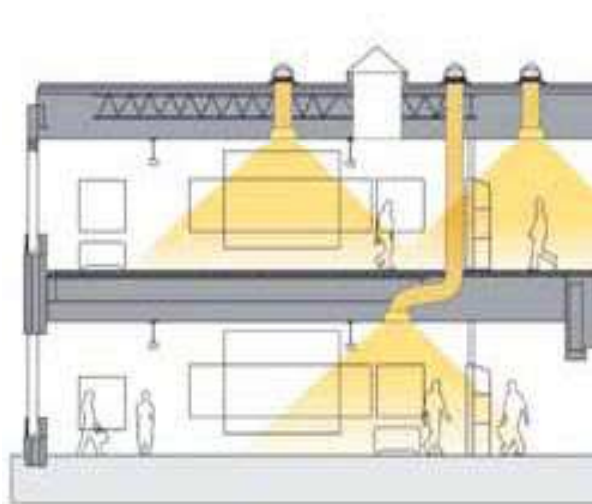
Освещение входа аэропорта



Внедренные светодиодные системы освещения на примере компании «Световые технологии» (LED форум 2013, Астана).

Системы солнечного освещения (ССО)

являются пассивными методами экономии электрической энергии в освещении.



Разрез здания с ССО



Офисная система СО



Солнечные системы для освещения
складских помещений и спортивных сооружений

Солнечные системы освещения создают равномерное освещение в течение всего дня.

В отличие от зенитных фонарей и мансардных окон занимают меньшую площадь и имеют меньшие тепловые потери.



Конструкции световодов и способы их монтажа

Специальное покрытие способно передавать **99,7%** энергии попадающего в него видимого излучения. Светоотражающая труба может быть повернута под любым углом, не теряя при этом попавшего в нее излучения при длине световода **до 20 метров!** Проходя по трубе, свет попадает на диффузор, который равномерно его рассеивает, создавая качественное освещение, практически, без теней.

Появляется возможность принципиально нового подхода к проектированию и строительству зданий. Такие системы освещения успешно внедряются и эксплуатируются в зданиях с «зеленой кровлей».

Таблица 8.1 Сравнительные характеристики систем естественного освещения

Показатели	Традиционные системы	Системы солнечного освещения (ССО)
Светопроводность	От 5% до 10%	Отражающие свойства многослойного полимерного покрытия – 99,7 %
Визуальная светопередача	22% – 71%	50 % - 60%
Коэффициент притока солнечной радиации	3-ной стеклопакет - 0,16 2-ной стеклопакет - 0,49 (пакеты с покрытием)	Отражающая пленка световода прозрачна для ИК – излучения, $K = 0,2$
Передача излучения видимой области	Помещения верхних этажей, в прилегающей зоне до 6 м	Без ограничения
Эффективность светопередачи	До 15% площади кровли	До 2% площади кровли

При организации естественного освещения с помощью систем солнечного освещения, обладающих хорошими оптическими и теплофизическими свойствами, внутренние помещения наполняются мягким солнечным светом независимо от их расположения и ориентации здания. При использовании данной системы естественного освещения можно получить принципиально новый подход к строительству, а также к проектированию зданий и сооружений. Таким образом, появилась возможность

сделать кровлю любого типа светопрозрачной без снижения её теплопроводных свойств и без нарушения конструкции, что не могут обеспечить традиционные световые проёмы (зенитные фонари и мансардные окна, табл. 8.1).

Более того, системы освещения успешно внедряются и эксплуатируются в зданиях с зелёной кровлей.



Системы ССО для освещения школьных учреждений
(г. Степногорск, проект ЭЭО ПРООН РК)



Системы ССО для освещения дошкольных учреждений

Заключение

Данное учебное пособие позволит повысить уровень подготовки тренеров по энергоаудиту, энергетических аудиторов и менеджеров в области электрического освещения, предоставит возможность достижения целей энергосбережения.

Предлагаемые методики проведения энергетического и светового аудита, оценки энергетической эффективности источников света, обследования систем электрического освещения и наружного освещения позволяют выработать единый подход к оценке энергетической эффективности осветительных установок и принятию правильных энергоэффективных решений.

Учитывая, что энергетический аудит проводится с целью снижения энергоинтенсивности, мониторинга потерь электроэнергии и повышения экономичности процессов производства, предприятия и компании могут снизить бремя стоимости энергоносителей, уменьшить антропогенное воздействие путем преобразования их существующих структур в структуру с низким потреблением энергии.

Все энергопотребляющие секторы ощущают резкое повышение цен на энергоносители, особенно в результате неэффективного использования энергии. Компании могут добиться снижения расходов на энергию с помощью технологий энергетического аудита и менеджмента, которые отслеживают потери энергии и совершенствуют меры по повышению энергоэффективности, повышая тем самым конкурентоспособность, направление инвестиций и деятельность, которая требуется для снижения потребления энергии.

Правильно выполненное освещение обеспечивает безопасность горожан, снижает аварийность на дорогах, уменьшает уровень преступности, а также формирует облик городов, повышая их туристическую привлекательность. По

прогнозам специалистов, спрос на потребление электроэнергии в городах вырастет вдвое к 2025 году. Это означает, что уже сейчас необходимо переходить на энергоэффективные технологии.

На данный момент уже очевидно, что будущее освещения – за светодиодными решениями. По оценкам специалистов Philips, к 2015 году уже 50% всего освещения в мире будет основано на светодиодах, а к 2020 году – более чем 75%. Светодиодная индустрия сегодня является одной из самых быстроразвивающихся отраслей. По прогнозам специалистов, гонка технологий продлится до середины 2020-х годов, когда светодиоды достигнут своих пиковых характеристик. В этом аспекте можно рассматривать светодиодные системы освещения как наиболее конкурентно способные.

По сравнению с системами на традиционных источниках света решения на базе светодиодов обладают многими преимуществами. В первую очередь, они энергоэффективны, имеют длительный срок службы, более просты в эксплуатации и техническом обслуживании. Решения на базе светодиодов являются экологически рациональными, поскольку позволяют минимизировать рассеянный свет, тем самым, уменьшая световое загрязнение и сохраняя окружающую среду.

Светодиодные системы освещения предоставляют большую свободу выбора с точки зрения цветности излучения, динамики, миниатюризации и интеграции в архитектурные решения. Светодиодное освещение открывает новые возможности для создания атмосферы и оживления городских пейзажей.

Энергоаудит – это инструмент энергоэффективности для получения финансовой выгоды от реализации энергосберегающих мероприятий, разработанных по его итогам.

Три основных результата, достигаемых от его проведения:

- оценку текущего состояния эффективности использования энергоресурсов и разработку мероприятий, устраняющих потери;
- экспертизу существующих инновационных проектов и разработку рекомендаций по дальнейшему развитию эффективных, а также блокированию продвижения технически вредных и, зачастую, весьма дорогостоящих проектов связанных агрессивной рекламой;
- выполнение формальных задач энергоаудита обусловленных формированием энергетического паспорта объекта.

Список литературы

1. Программа по развитию электроэнергетики в РК на 2010-2014 годы.
2. Стратегический план развития Республики Казахстан до 2020 года.
3. Государственная программа по форсированному индустриально-инновационному развитию Республики Казахстан на 2010-2014 годы.
4. Программа по развитию инноваций и содействию технологической модернизации в РК на 2010-2014 годы
5. Постановление Правительства Республики Казахстан от 29 августа 2013 года N 904 Об утверждении Программы «Энергосбережение – 2020».
6. Закон Республики Казахстан «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» (с изменениями от 10.07.2012 г.).
7. Методическое пособие по разъяснению основных положений послания президента РК Н.А. Назарбаева народу Казахстана «Построим будущее вместе» Астана, 2011.
8. *Абылкаирова Б., Есенгабулов С., Мендыбаева С.* Зеленое строительство. Астана, 2011.
9. *Алферов Ж.И.* История и будущее полупроводниковых гетероструктур. Физика и техника полупроводников. 1998. № 3. С. 3-18.
10. *Бабко А.Н.* Электрическое освещение и облучение. Учебно-методический комплекс. – Астана: Каз АТУ, 2011 – 187 с, ил.
11. *Бабко А.Н.* Электромеханика и электротехническое оборудование: Учебное пособие. – Астана: Каз АТУ, 2009- 185с., ил, прил. - 8
12. *Кравченко А.А.* Современные способы расчета электрического освещения. Астана: КАТУ, 2003.
13. *Клыков М.Е.* (под общей редакцией проф. Ю.Б. Айзенберга). Электронные пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп и системы автоматического управления освещением. Московский дом света. 2011.
14. *Кнорринг Г.М., Фадин И.М., Сидоров В.Н.* Справочная книга для проектирования электрического освещения. - 2 изд., перераб., и доп., СПб.: Энергоатомиздат, 1992.
15. Модель взаимодействия субъектов ЖКХ / Пособие по организации управления и содержания многоквартирных жилых домов. – Астана, 2012.
16. Справочная книга по светотехнике. / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
17. Энергосбережение в освещении. Под ред. проф. Ю.Б. Айзенберга. М.: Знак. 1999. 265 стр.
18. Энергоэффективное электрическое освещение: учебное пособие/ С.М. Гвоздев и др.; под ред. А.П. Варфоломеева. – М.: издательский дом МЭИ, 2013, 288 с.
19. Энергосбережение и энергоаудит в осветительных и облучательных установках: учебное пособие/ Кунгс А.Я., Цугленок Н.В. – Красноярск: КГАУ, 2003.
20. *Жилинский Ю.М., Кумин В.Д.* Электрическое освещение и облучение. М.: Колос, 1982, 272 с., ил.

21. Юнович А.Э. Свет из гетеропереходов. Природа. 2001. № 6. С. 38-46;
22. Юнович А.Э. Светодиоды как основа освещения будущего. Светотехника. 2003. № 3. С. 2-7.
23. Шуберт Ф. Светодиоды. Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. М.: Физматлит. 2008. 495 с.
24. Щепина Н.С. Основы светотехники: учебник для техникумов. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
25. СП РК 2.02-18-2005. Инструкция по проектированию систем аварийного освещения в зданиях и сооружениях.
26. СН РК 4.04-23-2004. Электрооборудование жилых и общественных зданий. Нормы проектирования (с изменениями от 05.03.2009 г.).
27. МСН 2.04-05-95 (СНиП 23-05-95). Естественное и искусственное освещение.
28. СНиП РК 2.04-05-2002«Естественное и искусственное освещение.
29. МГСН 2.06-99. Естественное, искусственное и совмещенное освещение. М., 1999.
30. Рекомендации МКО 69:1987. Методы оценки характеристик люксметров и яркометров.
31. МКО 84:1989. Измерение светового потока.
32. МКО 15:2004. Колориметрия.
33. МКО 127:2007. Измерение светодиодов.
34. Каталог ламп фирмы PHILIPS.
35. Каталог продукции ЛидерЛайт. Светодиодное освещение, 2013.
36. Каталог продукции Оптимум. Светодиодное освещение, 2013.
37. Концепция создания Центра энергоэффективности в Казахстане. Астана, 2011
http://leadlight.ru/product_info.php.c Path=32_28&products_id=18
38. <http://www.ecat.lighting.philips.ru/l/lamps/high-intensity-discharge-lamps/hpl-high-pressure-mercury/hpl-n/48078/cat/?t1=ProductList>
39. <http://www.ecat.lighting.philips.ru/l/lamps/high-intensity-discharge-lamps/quartz-metal-halide/46649/cat>.
40. Методика расчета экономии электроэнергии в действующих осветительных установках помещений при проведении энергетического аудита. Лоскутов А.Б., Шевченко А.С. <http://torrents.net.ua/>

Приложение 1

1. Расчет энергетических величин

Пример 1. Определение полного потока излучения по методу зональных телесных углов

Определение полного потока излучения рассмотрим на примере симметричного источника излучения, с плавной продольной кривой распределения пространственной плотности потока излучения в зоне от $\varphi_1 = 0^\circ$ до $\varphi_2 = 30^\circ$.

Требуется определить поток излучения в данной зоне пространства, при условии:

$$I_{\text{эф}=5^\circ} = 3 \text{ Вт/ср}; \quad I_{\text{эф}=15^\circ} = 2 \text{ Вт/ср}; \quad I_{\text{эф}=25^\circ} = 1,5 \text{ Вт/ср}.$$

(значения силы излучения принимаются для конкретного источника)

Для определения потока излучения, пространство в зоне углов от $\varphi_1 = 0^\circ$ до $\varphi_2 = 30^\circ$ необходимо разделить на зональные телесные углы (например, $\Delta\varphi = 10^\circ$) [11,24].

Таблица 1.1 – Зональные телесные углы

$\varphi_{\text{ср}}, \text{град}$	$\Delta\omega, \text{град}$	$\omega_{\text{ср}}$
5	0-10	0,095
15	10-20	0,283
25	20-30	0,463
35	30-40	0,628
45	40-50	0,774
55	50-60	0,897
65	60-70	0,993
75	70-80	1,058
85	80-90	1,091
95	90-100	1,091
105	100-110	1,058
115	110-120	0,993
125	120-130	0,897
135	130-140	0,774
145	140-150	0,628
155	150-160	0,463
165	160-170	0,283
175	170-180	0,095

$$\omega_{\text{max}} = 4\pi = 12,57 \text{ ср}$$

Согласно таблице 1.1 определяются значения телесных углов.

По формуле [24,11] находится поток излучения:

$$\Phi_e = 2 \pi \int_{\varphi=0^\circ}^{\varphi=180^\circ} I_{ep}(\varphi_i) \cdot (\cos\varphi_i - \cos\varphi_{i-1}),$$

где I_{eep} – сила излучения, Вт/ср.

$$\Phi_e = 2\pi \left\{ I_{e\varphi=5^\circ} [\cos 0^\circ - \cos 10^\circ] + I_{e\varphi=5^\circ} [\cos 10^\circ - \cos 20^\circ] + I_{e\varphi=3^\circ} [\cos 20^\circ - \cos 30^\circ] \right\} = 2\pi [3 \cdot 0,095 + 2 \cdot 0,283 + 1,5 \cdot 0,463] = 9,7 \text{ Вт}$$

Среднее значение силы излучения, для какой либо зоны можно определить по формуле:

$$I_{eep}(\varphi_i) = \frac{I_e(\alpha_1, \varphi_1) + I_e(\alpha_2, \varphi_2) + \dots + I_e(\alpha_n, \varphi_n)}{n},$$

Пример 2. Расчет облученности поверхности

Определение облученности поверхности имеющей коэффициент отражения $\rho_e = 0,6$, энергетическая светимость отраженного излучения $M_e = 90 \text{ Вт/м}^2$.

Используя выражение: $M_e = \rho_e \cdot E_e [\text{Вт/м}^2]$.

Находится облученность поверхности:

$$E_e = M_e / \rho_e = 90 / 0,6 \approx 150 \text{ Вт/м}^2$$

Пример 3. Расчет энергетической светимости

Определить энергетическую светимость излучающей поверхности площадью $S = 0,5 \text{ м}^2$. Поток излучения мощностью $\Phi_e = 20 \text{ Вт}$, излучается равномерно всей поверхностью.

Исходя из формулы:

$$M_e = \Phi_e / S = 20/0,5 = 40 [\text{Вт/м}^2].$$

Пример 4. Расчет силы излучения точечного источника

Поток излучения точечного источника, находящегося в центре сферы радиусом $r = 1$ м, составляет:

$$\Phi_e = 1000 \text{ Вт.}$$

Необходимо найти силу излучения (I_e) и облученность E_e сферической поверхности.

Сила излучения I_e , для данного случая определится исходя из следующего выражения:

$$I_e = \Phi_e / \omega_{\max} \text{ [Вт/ср]}$$

Наибольший телесный угол можно найти из таблицы 3.1

$$\omega_{\max} = 12,57 \text{ ср. тогда, } I_e = 1000 / 12,57 = 79,6 \text{ Вт/ср.}$$

Облученность сферической поверхности:

$$E_e = \Phi_e / S_{\text{сф}} \text{ [Вт/м}^2\text{]}$$

$$S_{\text{сф}} = 4\pi r^2 = 12,56 \text{ м}^2$$

$$\text{тогда } E_e = 1000 / 12,56 \approx 80 \text{ Вт/м}^2$$

Пример 5. Определение энергетической яркости

На пластину площадью $S=5 \text{ м}^2$ падает поток излучения

$$\Phi_e = 100 \text{ Вт}$$

Найти энергетическую яркость пластины. Принять вторичный источник равномерным, коэффициент отражения $\rho=0,9$.

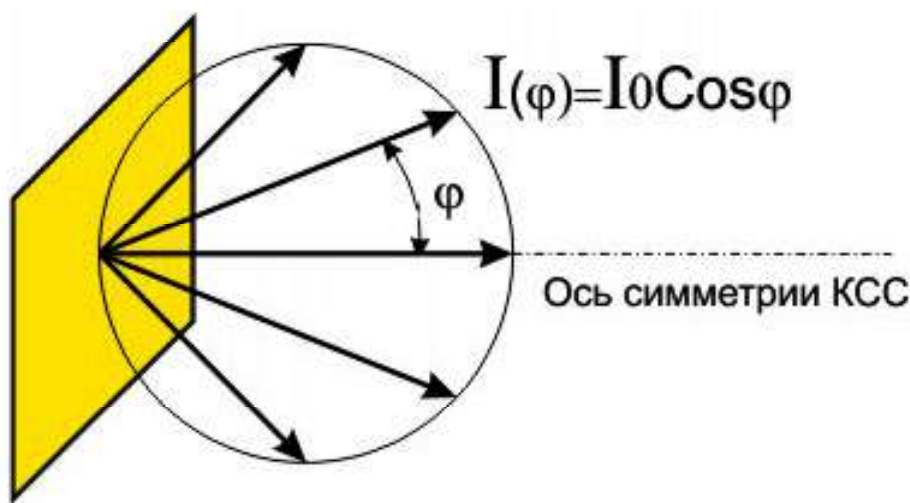


Рисунок 1.1. – Равнояркая плоская поверхность.

КСС равнояркой пластины имеет форму сферы. После интегрирования поток равен:

$\Phi = \pi I_0$, где I_0 – сила света вдоль оси симметрии КСС.

Исходя из выражения:

$$\rho_e = \Phi_{ep} / \Phi_e,$$

где ρ_e – интегральный коэффициент отражения;

Φ_{ep} – отраженный поток излучения;

Φ_e – падающий поток излучения.

$$\Phi_{ep} = \Phi_e \cdot \rho_e = 100 \cdot 0,9 = 90 \text{ Вт}$$

энергетическая яркость:

$$L_{ep} = \Phi_{ep} / (\pi \cdot S) = M_e / \pi = 90 / 3,14 \cdot 5 = 5,73 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ср}$$

Пример 6. Определение потоков излучения

Отраженный поток излучения Φ_{ep} от стеклянной пластины, имеющей параметры $\rho_e = 0,5$ и $\alpha_e = 0,3$, составляет 100 Вт.

Требуется найти падающий поток излучения Φ_e и прошедший поток Φ_{et} . Используя соотношение $\rho_e = \Phi_{ep} / \Phi_e$, определяется падающий поток излучения:

$$\Phi_e = \Phi_{ep} / \rho_e = 100 / 0,5 = 200 \text{ Вт.}$$

Находится поток излучения поглощенный телом:

$$\Phi_{ea} = \alpha_e \cdot \Phi_e = 0,3 \cdot 200 = 60 \text{ Вт}$$

Согласно закону сохранения энергии, пропущенный поток излучения:

$$\Phi_{et} = \Phi_e - \Phi_{ep} - \Phi_{ea} = 200 - 100 - 60 = 40 \text{ Вт.}$$

Коэффициент пропускания $\tau = 0,2$.

Условия $\rho_e + \alpha_e + \tau_e = 1$ соблюдается.

1.1. Светодиодные источники излучения

Светодиоды (сокращенно СД, английское – LED, Light Emitting Diodes) – полупроводниковые приборы, которые при протекании тока излучают свет. Светодиоды в 60-80 гг. XX-го века широко применялись в индикаторах и цифробуквенных указателях. Они имели красный, оранжевый и желто-зеленый цвет свечения. Открытия и изобретения в физике в 90-х гг. привели к созданию высокоэффективных светодиодов, излучающих в видимой области спектра, от ближнего ультрафиолетового до чисто зеленого диапазона. Яркие светодиоды, излучающие во всей видимой области, дали возможность создания светодиодных источников белого света [18,21,22,23]

Светодиод – полупроводниковое устройство с электронно-дырочным переходом дающий излучение оптического диапазона при прохождении через него электрического тока. Под действием приложенного напряжения электроны из N-области инжектируются в P-область, где происходит их рекомбинация с «дырками». При этом происходит выделение энергии в виде квантов света определенной длины волны. Но, не все носители заряда рекомбинируются, и не все сгенерированные фотоны покидают пределы кристалла. Значительная часть энергии рассеивается в виде тепла. Отношение количества вышедших фотонов к общему числу инжектированных носителей зарядов показывает эффективность светодиодов как источников видимого излучения.

Светодиоды белого свечения

В настоящее время достигнуты значения световой отдачи СД лучших образцов белого свечения до 210 лм/Вт. На рисунке 6.25 показаны способы создания белого света. Его можно получить сложением излучения СД трех цветов – красного, зеленого и синего. Для лучшего воспроизведения белого света заданного оттенка можно использовать СД четырех и более цветов. Это позволяет наилучшим образом управлять цветовыми характеристиками излучателя, изменяя ток через отдельные диоды, но требует источника питания с заданным напряжением для каждого из СД [18,21,22,23].

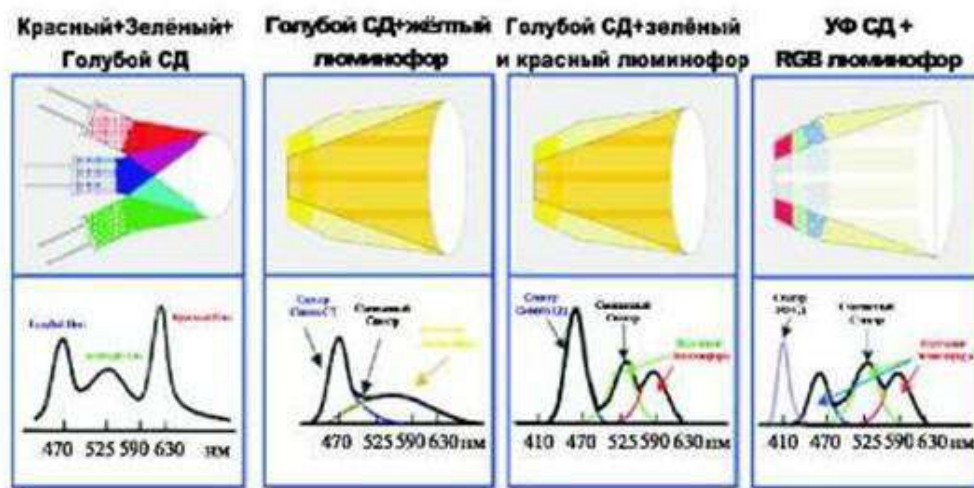


Рисунок 1.2 – Способы создания белого света

Второй способ – синий СД, покрытый желтым или желто-зеленым люминофором. Это – наиболее простой применяемый способ, потому что в данном случае требуется только один источник питания. Он наиболее широко применяется в массовом производстве СД белого свечения, но его цветовые характеристики уступают светодиодам, получаемым другими способами [18].

Третий способ – синий СД, покрытый двумя люминофорами, зеленым и красным – позволяет получить лучшие цветовые характеристики [18].

Четвертый способ – ультрафиолетовый (УФ) СД, покрытый тремя люминофорами, красным, зеленым и голубым (RGB). Он имеет преимущества известных люминофоров для люминесцентных ламп, но для него неизбежны потери энергии при преобразовании УФ-излучения в длинноволновое [18].

Эффективность полупроводниковых источников света – световая отдача – определяется произведением нескольких множителей:

$$\eta = K * \eta_{elec} * \eta_{IQE} * \eta_{extrac} * \eta_{conv} \quad [23].$$

Один из них, η_{elec} – коэффициент электрической эффективности СД. Он характеризует долю падения напряжения на той области светодиода, в которой идет рекомбинация электронно-дырочных пар (активной области), по отношению к общему напряжению на СД. Другой множитель – внутренний квантовый выход излучения, η_{IQE} – характеризует вероятность излучательной рекомбинации относительно общего потока рекомбинации в этой активной области. Третий множитель, η_{extrac} – коэффициент оптического вывода излучения – это отношение светового потока, вышедшего из полупроводникового кристалла, к потоку излучения, возникающему в активной области. Четвертый множитель, η_{conv} – коэффициент преобразования энергии излучения в люминофоре. Произведение этих четырех множителей определяет коэффициент полезного действия СД, т.е. эффективность преобразования электрической энергии в световую с определенным спектром.

Наконец, множитель K – световая эффективность или люмен-эквивалент, определяется чувствительностью человеческого зрения к излучению с данным спектром и имеет размерность лм/Вт.[23] В таблице 6.4 приведены значения коэффициентов, достигнутые в технологии белых СД к 2008 г.

Таблица 1.2 – Параметры, характеризующие эффективность светодиода

Коэффициент	Обозначение	Цель	Результаты, 2008 г.
Электрическая эффективность	η_{elec}	95	80%
Внутренний квантовый выход	η_{IQE}	100	80%
Коэффициент оптического вывода	η_{extrac}	90	70%

Коэффициент преобразования люминофора	η_{conv}	100	60%
Световая эффективность (люмен-эквивалент), при КЦТ=6500 К	K	340 лм/Вт	320 лм/Вт
Внешний квантовый выход	$\eta_{\text{IQE}} * \eta_{\text{extrac}}$	90	56
Коэффициент полезного действия	$\eta_{\text{elec}} * \eta_{\text{IQE}} * \eta_{\text{extrac}}$	85	45

КЦТ – коррелированная цветовая температура, К.

Световая отдача светотехнических устройств СД меньше, чем у СД. Она зависит от конструкции отражателей и рассеивающих поверхностей; за последние годы она достигла 120 лм/Вт.

Достигнуто значение световой отдачи СД в лабораториях 210 лм/Вт. Значения световой отдачи для лучших коммерческих СД достигли 120 лм/Вт, а для массовых коммерческих — 80-90 лм/Вт. Но это не единственное преимущество СД [18].

Светодиоды, как твердотельные приборы, работающие при температурах близких к комнатным, имеют значительно больший срок службы, чем лампы накаливания и люминесцентные лампы. Оценки срока службы СД при нормальных режимах дают значения до 50 тыс. часов. Максимально возможный срок службы 100 000 час. Они имеют малые размеры, но часть электрической энергии идет на нагрев (до 75%). Повышение температуры приводит к падению световой отдачи [18,21,22,23].

Поэтому в конструкции СД используются корпуса, обеспечивающие хорошую теплопередачу. Это позволяет увеличить ток через диод и, таким образом, увеличить световой поток. СД в отличие от обычных ламп не перегорают, а постепенно уменьшают свою эффективность. Срок службы определяется падением интенсивности излучения, например, до 70% от начального значения [23].

Еще одно преимущество СД – вибростойкость. В них нет нити накаливания, которая выходит из строя при вибрациях. Важное отличие светодиодов от ламп – питание постоянным током низкого напряжения. На одном СД при прямом токе падает напряжение порядка контактной разности потенциалов, т.е., в зависимости от длины волны излучения, от 1,8 до 3,5 В. Обычно в лампах применяется последовательное или последовательно-параллельное соединение нескольких диодов. Напряжение источника питания принято равным 12-24 В. В помещениях с пожарной опасностью СД имеют преимущества по сравнению с лампами, требующими питания переменным напряжением 127-220 В [18,21,23,22].

Площадь кристаллов СД составляет около 1 мм², это почти точечные источники света. Линзы и отражатели устройств с СД создают излучение в заданном телесном угле (3-120°). Это позволяет эффективно использовать световой поток для освещения нужной части пространства или поверхности.

Светодиод состоит из нескольких слоев полупроводниковых материалов выращенных на общей подложке. Технологический процесс достаточно сложен и состоит из многих этапов. Среди них можно выделить подготовку подложку и выращивание полупроводниковых слоев (эпитаксия), Добавление необходимых примесей (легирование). Нанесение изоляционных слоев (оксидирование) и электродов (металлизация). По окончании технологического процесса проводится тестирование светодиодов. Подложка разрезается на отдельные кристаллы, которые заключаются в корпус. Светодиоды выпускаются в корпусном исполнении, в виде мульткристалльных матриц (сборок) или в бескорпусном исполнении (Chip On Board, COB).

Важное отличие светодиодного освещения – возможность управлять как интенсивностью, так и спектром излучения. Люминофоры для белых СД, возбуждаемых синим излучением кристалла, позволяют создавать светодиоды «холодного» (т.е. яркого дневного) света с коррелированной цветовой температурой (КЦТ) около 6000К, «нейтрального» с КЦТ около 4000 К, «теплого» (т.е. вечернего, близкого к цвету ламп накаливания) с КЦТ около 3000 К. Переключение разных СД позволяет регулировать оттенок белого света. Больше возможностей дают лампы со сложением излучения большого числа СД разного цвета; разработаны осветители с программным обеспечением, позволяющим получать заданные цветовые характеристики [18].

Начиная с 2005 г. рынок светодиодов увеличивался на 11% в год, с 4 млрд долларов до 5,5 млрд долларов в 2008 г. Затем, несмотря на экономический кризис, он продолжал расти на 4% в год. С 2010 г. светодиодный рынок растет на 15% в год и предсказывается, что такой рост будет продолжаться, достигнув в 2015 г. 12 млрд долларов. Предполагается увеличение применения мощных и сверхмощных светодиодов. В 2020 г. 2 млрд долларов, а в лучшем случае – до 6,5 млрд долларов [23].

Эти успехи и перспективы обусловлены тем, что за последние годы создано оборудование для массового производства структур, чипов, светодиодов. Разработаны технологии выращивания сложных структур LED (типа InGaN/AlGaIn/GaN) на подложках из сапфира и SiC. Разработаны методы увеличения оптического вывода излучения из кристаллов. Разработаны эффективные люминофоры для «холодного», «нейтрального» и «теплого» белого свечения. Опыт применения светодиодов в освещении показывает, что окупаемость замены обычных источников света светодиодными источниками излучения составляет сейчас от 4 до 7 лет. [18,23]. Предполагается, что цена светодиодов будет снижаться (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Перспективы улучшения параметров промышленных светодиодов (цены и световая отдача, данные Министерства энергетики США, март 2010 г.)

Параметры	Единица измерения	2010	2012	2015
Световая отдача («теплый», КЦТ = 2800-3500 К; индекс цветопередачи 85)	Лм/Вт	97	114	138
Цена (КЦТ = 2800-3500 К; J = 350 mA)	долл/кЛм	25	11	4
Световая отдача («холодный», КЦТ = 4100-6500 К; индекс цветопередачи 70)	Лм/Вт	147	164	188
Цена (КЦТ = 4100-6500 К; J = 350 mA)	долл/кЛм	13	6	2
Цена ламп из нескольких СД с источником питания (данные производителя)	долл/кЛм	101	61	28

Форма и внешний вид светодиодов различаются у разных производителей. На рисунке 1.3 показаны образцы белых светодиодов ведущих зарубежных фирм.

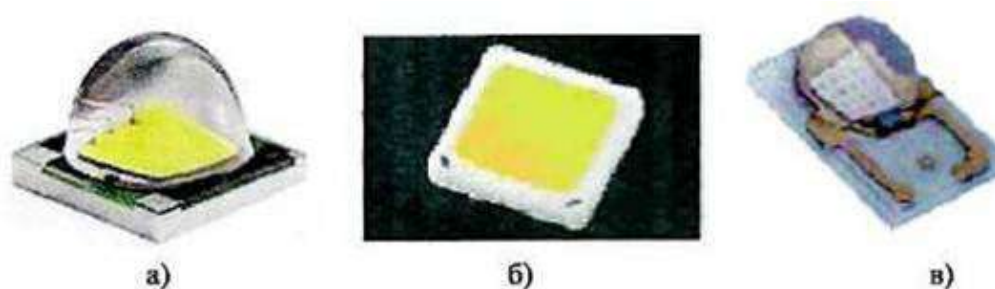


Рисунок 1.3 – Образцы светодиодов “XLight” (а, “Cree”), “Multichip LED” (б, “Nichia Chemical”), “Luxeon” (в, “Philips LumiLEDs”)

Но отдельные светодиоды являются лишь элементной базой для конструирования светодиодных ламп и светильников — световых приборов. Лампы и светильники должны обеспечивать нужный для каждого конкретного применения световой поток. Поэтому, как правило, они содержат несколько светодиодов. Кроме того, они должны обеспечивать определенное угловое распределение света (кривую силы света). Для формирования нужного светораспределения применяется вторичная линзовая оптика [18]. (Применение СД см. в разделе примеры светодиодного освещения).

1.3. Осветительные приборы

Осветительные приборы делятся на две группы: осветительные приборы ближнего действия (светильники) и осветительные приборы дальнего действия (прожекторы).

Светильник состоит из источника света и устройства предназначенного для перераспределения светового потока источника, внутри больших телесных

углов (до 4π) обеспечивающего коэффициенты усиления не более 30 для кругосимметричных и не более 15 для симметричных световых приборов (СП). Такое устройство называется осветительной арматурой.

Отражатели в светильниках (предназначены для перераспределения светового потока источников света) выполняются обычно из металла, и могут быть либо рассеянного света (диффузные), либо направленного света (зеркальные). Светораспределение светильников с диффузным отражателем (поверхность покрыта белой эмалью) практически не зависит от формы отражателя.

Наоборот, форма зеркального отражателя существенно влияет на светораспределение светильника, это позволяет за счет выбора соответствующего профиля зеркального отражателя получить светильник с заданной кривой силы света (отражатели изготавливаются из стекла, металла – сталь, алюминий).

К отражателям с направленно – рассеянным отражением, относятся металлические отражатели с травленной или неполированной поверхностью и отражатели, покрытые алюминиевой краской (занимают промежуточное положение).

Рассеиватели светильников изготавливаются: либо из прозрачного стекла подвергнутого химической или механической матировке стекла; либо из так называемых глушенных стекол (молочных или опаловых в состав которых, при варке, вводятся мельчайшие частицы с иным коэффициентом преломления, чем у стекла – криолит, плавиковый шпат).

Светильники с рассеивателями из матированного стекла имеют высокий КПД.

В светильниках с люминесцентными лампами используются, как правило, диффузные отражатели.

В высокоэффективных отражателях используют поверхность, покрытую серебром, которая обладает высоким зеркальным отражением, обеспечивая максимальный коэффициент усиления. Высокоэффективные отражатели обеспечивают увеличение коэффициента использования осветительной установки, в результате чего большая часть светового потока, излучаемого лампами, достигает рабочей поверхности [8].

К светотехническим характеристикам светильников относятся:

- светораспределение и коэффициент усиления;
- коэффициент полезного действия (КПД);
- защитный угол.

Под коэффициентом усиления понимается, отношение максимальной силы света к средней сферической силе света источника;

$$I_e \cdot \Phi = \phi_L / 4\pi$$

К.П.Д. светильника (η) – отношение светового потока светильника к световому потоку источника света:

$$\eta = \frac{\Phi_e}{\Phi_L};$$

Значение К.П.Д. характеризует экономичность светильника.

Защитный угол, определяет степень защиты глаза от воздействия ярких частиц источника света. Защитный угол светильника определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{h}{R + r} :$$

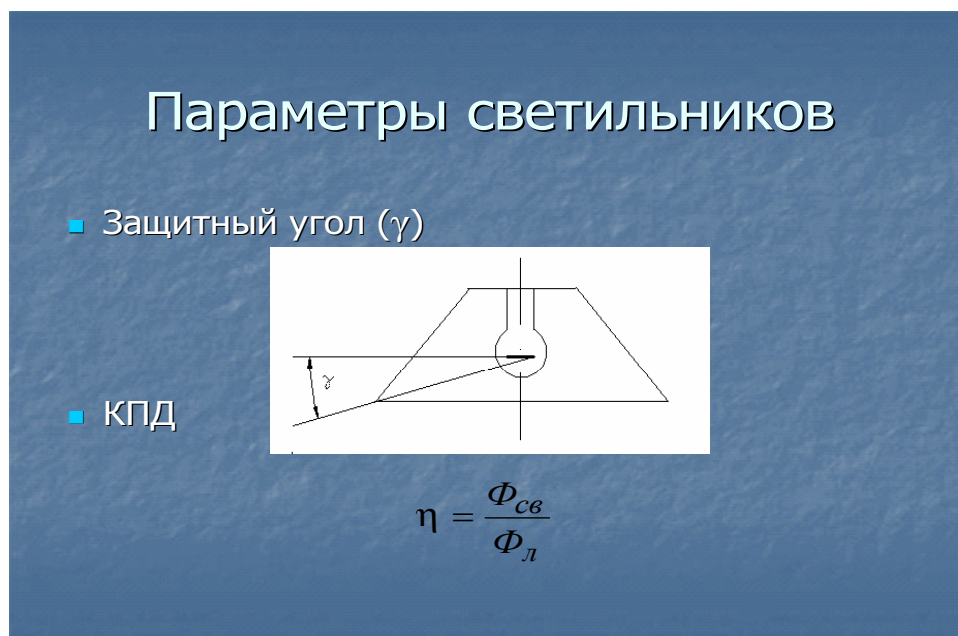


Рисунок 1.4 – Защитный угол светильника

В основу классификации светильников заложено два признака:

- распределение светового потока, излучаемого светильником, между нижней и верхней полусферами окружающего светильник пространства; форма кривой силы света. Согласно существующих ГОСТ принята следующая классификация светильников:

- прямого света (П)

$$\frac{\Phi_H}{\Phi_{\epsilon}} > 90\%$$

- преимущественно прямого света (Н)

$$60 < \frac{\Phi_H}{\Phi_{\epsilon}} \leq 90\%$$

- рассеянного света (Р)

$$40 < \frac{\Phi_H}{\Phi_{\epsilon}} \leq 60;$$

- преимущественно отраженного света (В)

$$60 < \frac{\Phi_{\epsilon}}{\Phi_H} \leq 90;$$

- отраженного света (О)

$$\frac{\Phi_{\epsilon}}{\Phi_H} > 90\%;$$

Излучаемый в данной полусфере поток может быть различно распределен в пространстве. Его распределение по отдельным направлениям пространства характеризуется кривыми силы света, причем особое значения имеют эти кривые для нижней полусферы.

Установлены следующие кривые силы света (в любой полусфере, рис.1.5).

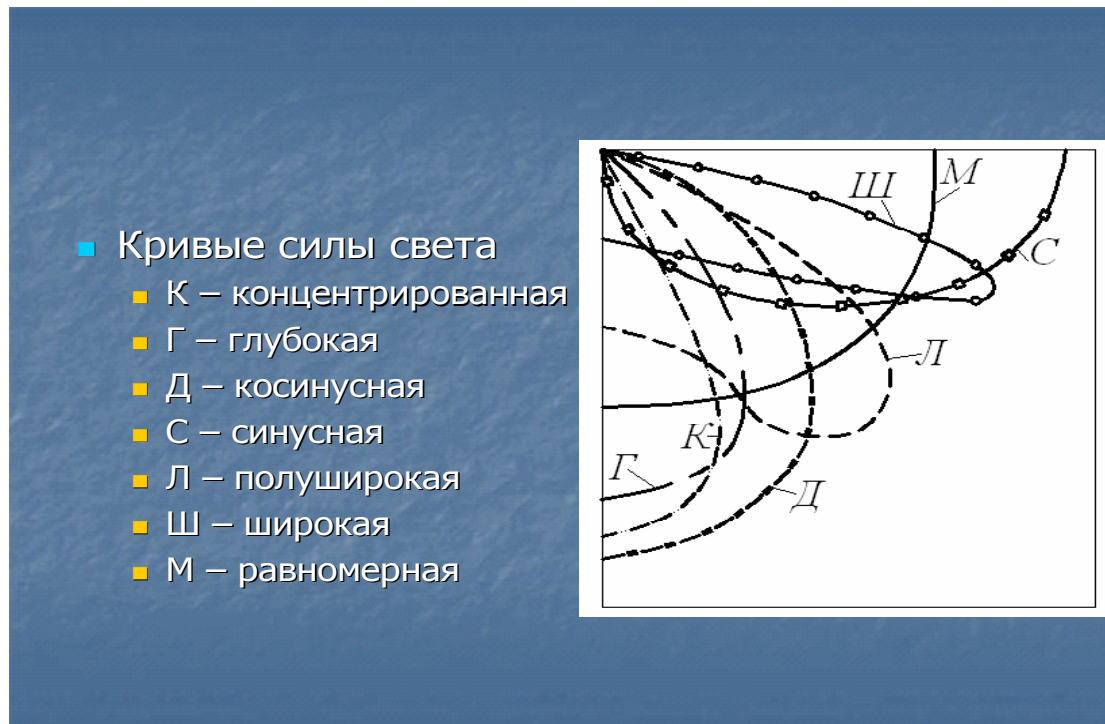


Рисунок 1.5 - Типовые кривые силы света

Существует классификация светильников по степени защиты от пыли и воды.

Обозначение системы защиты состоит из двух прописных букв (IP) (International Protection) и двух цифр. Первая цифра указывает защиту от пыли, вторая защиту от воды (IP 54).

По степени защиты от пыли:

открытие – 2; перекрытые с неуплотненной светопроницаемой оболочкой – 2'; пылезащищенные – 5 (допускают проникновение пыли в безвредных количествах); с ограниченной зоной пылезащиты, только в пределах расположения контактных поверхностей – 5'; пыленепроницаемые – 6; с ограниченной зоной пыленепроницаемости – 6'.

По степени защиты от воды:

0 – не защищенные; 2 – каплезащищенные; 3 – дождезащищенные; 4 – брызгозащищенные; 5 – струезащищенные.

По климатическому исполнению:

У – умеренного климата; Т – тропиков и др.

Структура условного обозначения светильников не у всех производителей одинакова, хотя некоторые производители светотехнической продукции применяют достаточно понятную маркировку (ГОСТ 17677), например фирма GALAD: ЖКУ16-250-001 УХЛ1,

где 1 – буква – тип источника света (*Н* – лампы накаливания, *С* – лампы-светильники, зеркальные и диффузные, *И* – кварцевые галогенные лампы накаливания, *Л* – прямые трубчатые люминесцентные, *Ф* – фигурные люминесцентные (КЛЛ), *Э* – эритемные, *Р* – ртутные лампы типа ДРЛ, *Г* – ртутные лампы ДРИ, *Ж* – натриевые лампы, *Б* – бактерицидные, *К* – ксеноновые трубчатые лампы, *Д* – светодиод, *СД*);

2 – буква, обозначающая способ установки светильников. (*С* – подвесные, *П* – потолочные, *Б* – настенные, *Н* – настольные, *Т* – напольные, *В* – встраиваемые, *К* – консольные, *Р* – ручные, сетевые, *Ф* – ручные аккумуляторные, *Д* – пристраиваемые);

3 – буква, указывает основное назначение (*У* – для наружного освещения, *П* – промышленные и производственные предприятия, *О* – для общественных зданий, *Б* – бытовых (жилых) помещений);

4 – две цифры (16), номер серии, индивидуальный номер модели светового прибора;

5 – следующие цифры(250), мощность, Вт;

6 – модификация, обозначает определенный набор характеристик светильника (гладкий, ячеистый и др.);

7 – климатическое исполнение и категория размещения (например, УХЛ1-от -60 до +40, У1 – от -40 до +40, УХЛ4 – от +1 до +35, Т1 – от 10 до +45.

Свойство больших яркостей производить слепящее действие называется блёскостью (может производить неприятное дискомфортное ощущение или вызывать состояние ослеплённости, уменьшается работоспособность).

В зарубежной литературе различают психологическую блёскость, вызывающую ощущение дискомфорта, и физиологическую, характеризующуюся снижением зрительных функций.

Существуют количественные требования по ограничению слепящего действия, путем введения показателя ослеплённости – *P*, для производственных зданий, и показателя дискомфорта – *M*, для общественных зданий.

Показатель – *P* характеризует степень снижения контрастной чувствительности, а показатель *M* – снижение субъективно оцениваемой степени зрительного неудобства.

Механизм изменения контрастной чувствительности можно представить, как появление в поле зрения так называемый вуалирующей пелены, снижающей эффективный контраст между деталями и фоном.

Если яркость поля адаптации L_{α} , а яркость вуалирующей пелены β , то показатель ослеплённости [14,17,18,19]:

$$P = \frac{\beta}{L_{\alpha}} \cdot 10^{-3}.$$

Яркость вуалирующей пелены определяется освещенностью E_3 плоскости зрачка и углом θ , между осью зрения и направлением на блёккий источник:

$$\beta = m \frac{E_3}{\theta^2};$$

m – коэффициент, зависящей от уровня слепящей яркости.

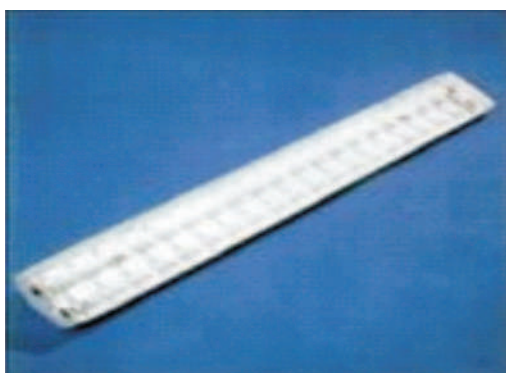
С увеличением угла θ ослепленность резко уменьшается, а при $\theta \geq 50^\circ$ практически прекращается.

Для светильников имеющих защитный угол γ , наименьший угол θ , под которым лампа может попасть в поле зрения, равен этому защитному углу.

Уменьшение слепящего действия может быть достигнуто:

- увеличением высоты установки светильников;
- уменьшением яркости светильника за счет применения светорассеивающих стекол, путем закрытия источника света;
- применением светильников с достаточным защитным углом;
- уменьшением мощности светильника, за счет увеличения их числа;
- увеличением коэффициента отражения всех поверхностей, находящихся в поле зрения.

На рис.1.6–1.9 приведены некоторые типы светильников.



а)



б)

Рисунок 1.6 – Светильники для производственных зданий:

а – светильник с люминесцентными лампами;

б – светильник подвесной, глубоководный (для ламп КЛЛ, Л.Н., ДРЛ, ДРИ, СД)



а)



б)

Рисунок 1.7 – Светильники для наружного освещения консольный (а), торшерный (б) (НТУ – КЛЛ, Л.Н. СД; РКУ – ДРЛ; ЖКУ – ДнаТ).

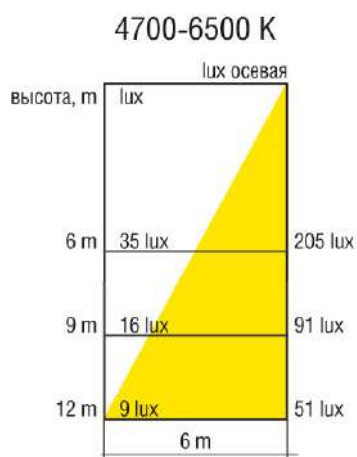


Рисунок 1.8 – Светильники потолочные встраиваемые для общественных и административных зданий (источники света Л.Н., КЛЛ, ДРИ, СД).



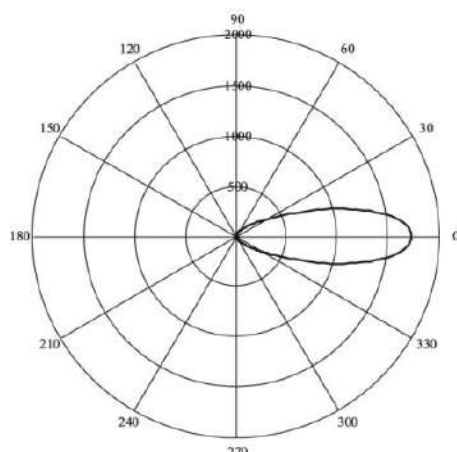
Рисунок 1.9 – Светодиодный светильник для наружного освещения LeaderLight LL-ДБУ-064-0205-65Д (потребляемая мощность 64 Вт, световой поток 4300, $R_a > 75\%$, КСС типа Д, ресурс работы 50000 ч.)

Освещенность, lux
для цветовой температуры



а)

Сила света, кд/1000 лм
(нормализованная диаграмма)



б)

Рисунок 1.10 – а) изменение уровня освещенности освещаемой поверхности от высоты установки светильника LL-ДБУ;
б) – нормализованная диаграмма силы света

Прожектор, это СП перераспределяющий свет внутри малых телесных углов. Обеспечивает угловую концентрацию светового потока с коэффициентами усиления более 30 для круглосимметричных и более 15 для симметричных приборов. Они предназначены для освещения удаленных объектов.

Из общей группы таких СП выделяют: прожекторы общего назначения; поисковые прожекторы; маяки, фары и др.

Для более детальной характеристики используются признаки СП: вид источника излучения; светотехническая функция (заливающего света, акцентирующего освещения, поиск и обнаружение объектов и др.); форма фотометрического тела (круглосимметричные, несимметричные, симметричные); класс светораспределения и тип КСС; способ установки и класс защиты от поражения электрическим током; степень защиты от пыли и воды; способ питания и др. [14,17,19].

Существуют прожекторы: для ламп накаливания; для галогенных ламп накаливания; для ламп ДРЛ, ДРИ и ДРШ. Выпускаются светильники прожекторного типа СЗЛ, а также светильники с ксеноновыми лампами (например, ОУКсН-20000, светильники и прожектора с LED).

Наибольшее распространение имели прожекторы типа: ПЗС; ПЗМ; ПСМ; ПФС, – для ламп накаливания; ПКН; ИСУ; ИТЖ, – для галогенных ламп; ПЗИ; ПГЦ; ПГП, – для ламп ДРЛ; ПФС – для ламп ДРШ; светодиодные – ДБУ и др.

В последнее время появилось новые типы прожекторов, в том числе иностранного производства.

Например, для ламп ДРИ и ДНаТ типа: SDFL, XT, SBN, FYGT (мощностью 150, 250, 400, 1000, 2000 Вт). Для галогенных ламп (мощностью 150, 300, 500, 1000, 1500 Вт). Типа: И012 и др.

Следует отметить, что в некоторых случаях могут использоваться световые комплексы (СК) (состоящие из набора СП и других необходимых элементов) функционирующие в комплекте и предназначенные для освещения или сигнализации.

Для особо опасных помещений (взрывоопасных, пожароопасных) используются специальные устройства – световоды.

Известны устройства типа ЩСС (щелевые световоды), КОУ (комплексные осветительные устройства, тоже ЩСС).

ЩСС представляет собой цилиндрическую полую трубу из пленки или органического стекла, с высоким коэффициентом зеркального отражения (длина 30 ÷ 70м, диаметр 250 ÷ 1100 мм).

Ввод видимого излучения производится с одной стороны, с двух сторон или в центре ЩСС, (может быть до 8 ламп в узле, чаще всего типа ДРИ).

В результате, количество световых точек уменьшается в 10 ÷ 50 раз, расход материала уменьшается в 20 ÷ 30 раз, трудоёмкость монтажных работ меньше на 15 ÷ 20 % , расчётные годовые затраты (на 1кВт установленной мощности) со ЩСС на 25 ÷ 30 % меньше, по сравнению с обычным освещением.

Следует отметить, что КПД и равномерность освещения еще не совсем удовлетворяют требованиям.

1.4. Расчет освещения по удельной мощности

Метод удельной мощности является упрощенной формой метода коэффициента использования светового потока.

Поэтому, при выборе данного метода следует:

- выяснить возможность применения его основной формы;
- оценить возможность выполнения расчетов с меньшей точностью (ошибка в расчетах может быть в пределах $\pm 15\%$, по сравнению с основной формой расчета).

Удельная мощность ω [Вт/м²], является важной энергетической характеристикой осветительных установок, которая используется для экономической оценки принятых решений и для предварительного определения общей нагрузки.

Метод удельной мощности может использоваться на всех стадиях проектирования, для общего равномерного освещения, но для локализованного освещения его применять не следует.

Значения удельной мощности приведены в таблицах [14,17], для определения ω , при лампах накаливания, необходимо знать:

- тип светильника;
- освещенность;
- коэффициент запаса (при необходимости производится пересчет);
- коэффициент отражения (в таблицах указаны $\rho_n = 50\%$, $\rho_c = 30\%$, $\rho_p = 10\%$, для светильников прямого света, при больших или меньших значениях коэффициентов отражения, допускается изменение ω на $\pm 10\%$).
- расчетную высоту;
- площадь помещения.

Для люминесцентных ламп существуют отличия:

- расчетные значения ω приведены для освещения 100 лк (прямая пропорциональность между ω и E);
- надо знать тип, мощность и световую отдачу ламп.

Для ламп типа ДРЛ таблицы составлены также для освещенности 100 лк (с пропорциональным пересчетом для других уровней освещенности).

При определении индекса помещений форма помещений не учитывается, индекс помещения определяется по выражению:

$$i = 0,48 \sqrt{S} / h \text{ (достаточно точная при } A/B \leq 2,5).$$

Для помещений большой длины ω определяется для условной площади $2B^2$, а затем это значение распространяется на всю площадь.

Порядок расчета для круглосимметричных источников излучения следующий:

- выбираются решения по освещению помещения, включая число светильников;

- по таблице определяется ω ;

- находится мощность лампы, $P = \frac{\omega \cdot S}{N}$;

- подбирается ближайший стандартный источник света (при необходимости производится корректировка).

Универсальный расчет по методу удельной мощности используется при отсутствии таблиц, для данного типа светильника.

В этом случае, расчеты ведутся по таблицам, разработанным для светильников с типовыми кривыми силы света [1], [12] (прилож. 5÷9).

При этом надо иметь в виду, что отношение L / h не должно превышать [12,10]:

- для КСС Д-1, Д-2, Д-3, $L / h \leq 1,6$;

- для КСС Г-1, $L / h \leq 1,2$;

- для КСС Г-2, $L / h \leq 1$.

Расчетное значение удельной мощности ω_{100} , при освещенности 100лк, для конкретно принятого типа светильника, находят делением табличного значения ω_{100} на значение КПД светильника (в относительных единицах).

Если значения E и K отличаются от табличных, то производится пропорциональный пересчет.

При несовпадающих коэффициентах отражения, как и ранее, ω изменяется на $\pm 10\%$.

Пример 1.

Рассчитать освещение помещения (12×6×3,5) методом удельной мощности. Освещенность 50 лк, коэффициенты отражения (50; 30; 10). Светильник типа НСП11, $h_p = 0,8$, $K_z = 1,3$, КСС типа Д-2.

Решение.

1. Расчетная высота, $h = 3,5 - 0,8 - 0,5 = 2,2$ м.

2. по табл. 5-31 [12] определяем $\omega = 11,3$ Вт/м²

3. Определяем количество светильников:

- оптимальное расстояние между светильниками, $L = \lambda_o \cdot h = 1,6 \cdot 2,2 = 3,5$ м;

- число рядов, $n_g = B / L = 6 / 3,5 = 1,7$ (принимаем 2 ряда);

- число светильников в ряду, $n_A = A / L = 12 / 3,5 = 3,4$ (принимаем 3 шт.)

- общее количество светильников,

$$N = n_A \cdot n_g = 2 \cdot 3 = 6 \text{ шт.}$$

4. Находим мощность ламп,

$$P = \frac{\omega \cdot S}{N} = \frac{1,3 \cdot 2}{6} = 135,6 \text{ Вт},$$

Пример приведен для ЛН, т.к. табличные значения удельной мощности в справочной литературе имеются для ЛН и газоразрядных ламп. Согласно расчету, требуется ЛН мощностью 150 Вт. Определив, по справочнику, световой поток ЛН можно подобрать, согласно ему, любой экономичный источник света. (ЛН типа Б215-225-150, имеет световой поток $\Phi = 2220$ лм, замена на КЛЛ типа Tornado ESaver 32W/827 с потоком $\Phi = 2255$ лм, тогда удельная мощность $\omega = 32 \times 6 / 72 = 2,7$ Вт/м², по энергетической эффективности лучше в 4 раза, но при расчете экономической эффективности необходимо учесть, что стоимость ее выше).

Пример 2. Универсальный расчет по методу удельной мощности. Исходные данные для расчета принять по примеру 1.

Решение.

1. Определим удельную мощность:

- по приложению 6. [12], $\omega_{100} = 15,2$ Вт/м²;

- находим $\omega = \frac{\omega_{100} \cdot K_p \cdot E_H}{K_T \cdot \eta_e \cdot 100} = \frac{15,2 \cdot 1,3 \cdot 0,9}{1,3 \cdot 0,9 \cdot 100} \approx 11,34$ Вт/м² (в данном случае

коэффициенты запаса, реальный и табличный, одинаковы $K_{зр} = K_{зт}$).

2. Требуемое количество светильников,

$$N = \frac{\omega \cdot S}{P_{\text{л}}} = \frac{1,3 \cdot 2}{150} = 5,44, \text{ принимаем } 6 \text{ шт. (см. пример 1).}$$

Примечание: следует обратить внимание на значение удельной мощности ω , примеры 1 и 2 (11,3 и 11,34) это говорит о том, что универсальный метод может применяться для многих источников излучения, без специальных таблиц удельной мощности (либо их надо подготовить самостоятельно).

1.5. Расчет освещения точечным методом

Признаком точечного метода расчета служит наличие контрольных точек на рабочей поверхности.

Точечный метод расчета применяется [12,14,17,19,18]:

- при локализованном освещении, т.е. при значительной неравномерности освещения;

- при размещении светильников на расстояниях превышающих оптимальные;

- при наличии крупных затеняющих предметов;
- при расчете местного и аварийного освещения;
- для расчета наружного освещения (при нормируемой минимальной освещенности);
- для расчета освещения вертикальных или наклонных поверхностей
- в особо ответственных случаях расчета общего равномерного освещения.

В задачу расчета входит, или определение параметров осветительной установки, или определение освещенности в контрольных точках при известных параметрах установки.

При точечном методе расчета может использоваться несколько форм. Расчет для круглосимметричных точечных излучателей и расчет для некруглосимметричных точечных излучателей.

За точечные излучатели принимаются осветительные приборы, размеры которых очень малы, по сравнению с расчетной высотой (замена ОП точкой дает погрешность не более 5%. т.е. габариты ОП не превышают 20% расстояния до рабочей поверхности; для люминесцентных светильников должно выполняться условие, не более 0,5 h).

Для расчета освещения при круглосимметричных точечных излучателях может быть несколько вариантов:

- конструктивный (или основной)
- поверочный способ (при известном размещении светильников и известной мощности источников света);
- итерационный способ (определяется такое расстояние между светильниками, чтобы в «наихудшей» контрольной точке освещенность была не менее нормируемой).

Рассмотрим порядок расчета приведенных способов [1,2,3,4].

Конструктивный способ:

- выбираются решения по размещению светильников, с учетом рабочих поверхностей и технологических зон;
- определяются контрольные точки;
- для всех контрольных точек вычисляется суммарная условная ($\sum e$) или суммарная относительная ($\sum \varepsilon$) освещенности;
- в качестве расчетной принимается точка с наименьшим уровнем освещенности;
- по формулам, для суммарных освещенностей $\sum e$ или $\sum \varepsilon$, вычисляется световой поток, для одного светильника:

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E \cdot k}{\mu \cdot \sum e}; \quad \Phi = \frac{1000 \cdot E \cdot k \cdot h^2}{\mu \cdot \sum \varepsilon},$$

где μ – коэффициент добавочной освещенности;

- по каталогу подбирается стандартный источник света, со световым потоком, отличающимся от расчетного, не более чем – 10% +20%.

Поверочный способ:

- предварительно проводится расчет по методу коэффициента использования или методу удельной мощности;
- точечным методом определяется освещенность на рабочих местах, в контрольных точках (при необходимости производится корректировка).
- при расчете общего локализованного освещения обычно требуется установка дополнительных светильников, поэтому, на основании поверочного расчета, определяется освещенность от основных светильников;
- находится освещенность, которая должна быть обеспечена дополнительными светильниками; затем проводится основной расчет;
- при проверке соответствия нормам, (существующей, рассчитанной другими методами) осветительной установки, намечаются контрольные точки (согласно рекомендациям);
- рассчитывается освещенность в контрольных точках (точке):

$$E = \frac{\Phi \cdot \mu \cdot \sum e}{1000 \cdot k}; \quad E = \frac{\Phi \cdot \mu \cdot \sum \varepsilon}{1000 \cdot k \cdot h^2}.$$

- рассчитанные значения освещенности сравниваются с нормируемыми значениями, при отклонениях превышающих рекомендованные значения, производится корректировка количества светильников, либо мощность ламп.

Итерационный способ:

- предварительно производится размещение светильников и принимается мощность ламп;
- рассчитывается требуемая суммарная относительная освещенность:

$$\sum \varepsilon_p = \frac{1000 \cdot E \cdot k \cdot h^2}{\Phi \cdot \mu}$$

- согласно исходных данных (п.1) определяется суммарная освещенность ($\sum \varepsilon$), в контрольных точках, и сравнивается с расчетной освещенностью (п. 2).

- при отклонении освещенности $\sum \varepsilon$ от $\sum \varepsilon_p$, производится корректировка, расстояний между светильниками (чаще всего в ряду) и опять рассчитывается $\sum \varepsilon$ (при необходимости весь расчет повторяется; данный метод лучше использовать при расчетах на ЭВМ).

При точечном методе расчета, в формулах, присутствует коэффициент дополнительной освещенности μ , учитывающий действие удаленных светильников.

Значение μ , чаще всего, принимается в пределах $1,1 \div 1,2$, оно зависит от характера светораспределения, коэффициентов отражения поверхностей, правильного учета удаленных светильников [14].

- светильники с КСС типа Д-1, Д-2, Д-3 - $1,1 \div 1,2$;
- светильники с КСС типа Г-1, Г-2 - $1,05 \div 1,15$.

$$\mu = \mu_{\text{vd}} \cdot \mu_o,$$

μ_c – коэффициент, учитывающий отраженную составляющую.

где η_n – реальное значение коэффициента использования светового потока;

Пример 1.

В помещении с размерами (8× 6 ×3,5) м надо обеспечить освещенность $E = 50$ лк, к установке приняты светильники НСП 09 с подвеской на крюк, КСС типа М, коэффициент запаса $k = 1,3$, коэффициент отражения 50, 30, 10.

Решение.

1. С учетом высоты рабочей поверхности и подвеса светильников, принимаем $h = 2,2$ м.

2. Размещаем светильники на плане помещения.

$$L = \lambda \cdot h = 1,9 \times 2,2 = 4,18 \text{ м (принимаем – 4 м).}$$

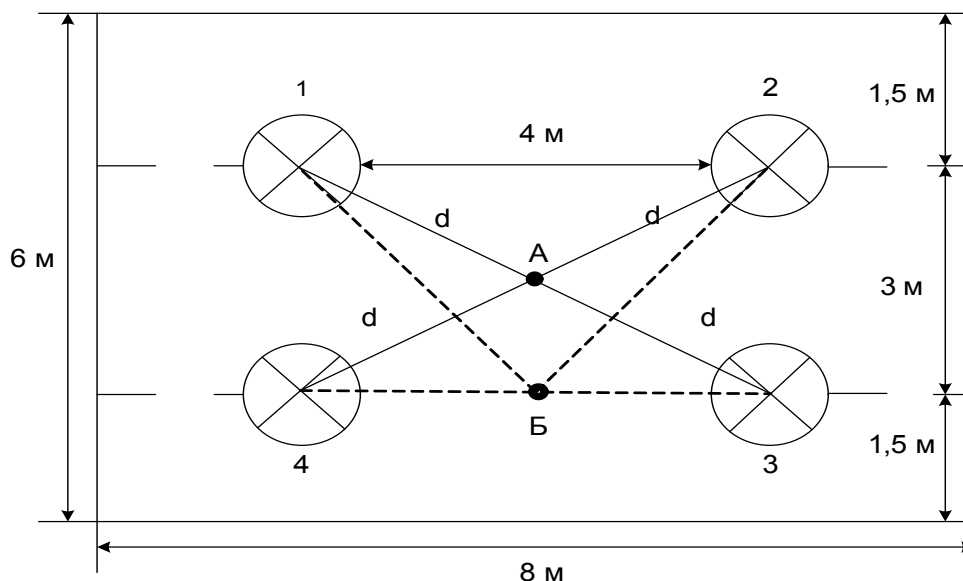


Рисунок 1.11 – Размещение светильников на плане помещения

3. Определяем, по плану, расстояние d (от светильников до контрольных точек), по графику рис. 6-7 [14] находим значения e .

Расчеты сводим в таблицу 9. 1.

Таблица 1.4 – Расчетные данные

точка	Номер светильника	Расстояние d, м	Условная освещенность, лк	
			от одного светильника	от всех светильников
А	1,2,3,4	2,5	4,5	18
Б	4,5	2	7	14
	1,2	3,6	2,1	$\frac{4,2}{\sum e = 8,2}$

Расчет ведем по точке А ($\sum e = 18$). Коэффициент дополнительной освещенности μ можно либо принять, либо рассчитать.

Для примера рассчитаем:

$$\mu_{y\partial} = 1,0 \div 1,1; \mu_o = \eta_p / \eta_q = 0,33 / 0,21 \approx 1,5$$

Для определения η_p , надо найти индекс помещения,

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 6}{2,2 \cdot (8 + 6)} = \frac{8}{9,8} \approx 1,5 ;$$

по таблице 5-5 [2], $\eta_p = 0,33$, $\eta_q = 0,21$

4. Определим световой поток:

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E \cdot k}{\mu \cdot \sum e} = \frac{1000 \cdot 9 \cdot 1,3}{1,5 \cdot 8} \approx 2407 \text{ лм}$$

5. Выбираем стандартный источник света со световым потоком близким к расчетному потоку. Если используются ЛН, то можно принять БК220 - 230 -150 со световыми потоком $\Phi_T = 2380$ лм, отклонение от расчетного светового потока чуть больше 1%. При использовании КЛЛ Tornado High Lumen 42W/865, световой поток $\Phi = 2850$ лм, отклонение от расчетного в большую сторону не превышает норматива.

Светодиодных источников излучения с требуемым световым потоком нет. Поэтому, необходимо подобрать подходящий по характеристикам светодиодный светильник или провести новый расчет.

1.6. Расчет силы света, условной и относительной освещенности

Освещенность в контрольной точке, при использовании круглосимметричных точечных излучателей, определяется законом квадратов расстояний [17]:

$$E = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \alpha}{r^2} \text{ [лк]}.$$

Значение силы света можно принять по справочным данным, а при необходимости рассчитать по формулам [10,14,17].

Таблица 1.5 Расчетные формулы для определения силы света

Тип КСС	Формула
Равномерная (м)	$I_{\alpha} = 159,2$
Косинусные: Д-1 Д-2 Д-3	$I_{\alpha} = 233,4 \cdot \cos 0,784\alpha$ $I_{\alpha} = 295 \cdot \cos 0,957\alpha$ $I_{\alpha} = 377,3 \cdot \cos 1,1038\alpha$
Глубокие: Г-1 Г-2	$I_{\alpha} = 503 \cdot \cos 1,2928\alpha$ $I_{\alpha} = 670,7 \cdot \cos 1,5109\alpha$
Полуширокая (Л)	$I_{\alpha} = 154,8 \cdot \cos \alpha / \cos [70^{\circ} \cdot (\sin 1,66 \alpha)^{1,2}]$

Расчет условной освещенности можно вести в следующей последовательности:

- определяются значения h и d ;
- находится значение угла α ,

$$\alpha = \arctg (d / h);$$

- по формулам, приведенным в таблице, рассчитывается значение силы света (светильник с условным 100% КПД);
- рассчитывается условная освещенность,
 $e = I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha / h^2$ (без учета КПД и класса светораспределения светильника);
- определяется требуемый световой поток ламп одного светильника (в формулу расчета, по точечному методу, вводится КПД светильника в нижней полусфере):

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E \cdot k}{\eta_H \cdot \mu \cdot \sum e} \text{ [лм]}.$$

При наличии кривых пространственных изолюкс, для конкретных типов светильников, расчет условной освещенности упрощается:

- определяются h и d ;
- по графикам изолюкс (по h и d) находится условная освещенность e ;
- рассчитывается суммарная освещенность в контрольных точках;

- определяется поток (или освещенность):

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

При отсутствии изолюкс, для принятого типа светильников, можно воспользоваться графиком пространственных изолюкс, для условного светильника, с силой света по всем направлениям,

$$I_{\alpha} = 100 \text{ кд}$$

Порядок расчета следующий:

- находятся h и d ;
- по графику изолюкс определяется значение условной освещенности e_{100} и угол α (по h и d);
- по таблицам или кривым силы света, для принятого типа светильников, находится значение силы света, I_{α} ;
- рассчитывается условная освещенность для реального типа светильников:

$$e = \frac{e_{100} \cdot I_{\alpha}}{100};$$

- определяется световой поток, по формуле предыдущего способа.

При использовании ЭВМ, можно провести расчет в следующем порядке:

- определяются координаты контрольной точки X_T и Y_T ;
- для каждого из участвующих в расчетах светильников необходимо выполнить следующие действия:
 - вычисляют координаты светильника X_C и Y_C ;
 - находится расстояние от светильника до контрольной точки,

$$d = \sqrt{(X_C - X_T)^2 + (Y_C - Y_T)^2};$$
 - определяется значение α , $\alpha = \arctg d/h$;
 - выбирается несколько (2-3) ближайших значений силы света (табличные) и вычисляется I_{α} ;
- рассчитывается условная освещенность (от одного светильника):

$$e = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha}{h^2};$$

- находится суммарная условная освещенность и требуемый поток.

Пример 1.

Рассчитать освещение производственного помещения с размерами (12×6×3,5), освещенность 50лк, коэффициенты отражения 50; 30; 10, $\kappa_3 = 1,3$, светильники НСП 11, КСС типа Д-2.

Решение:

1. По каталогу, КПД в нижней полусфере $\eta_H = 67\%$, общий КПД $\eta_C = 67\%$.
2. Расчетная высота, $h = 3,5 - 0,8 - 0,5 = 2,2$ м; расстояние между светильниками, $L = 1,6 \cdot 2,2 = 3,5$ м.
3. Размещаем светильники на плане помещения и намечаем контрольные точки.

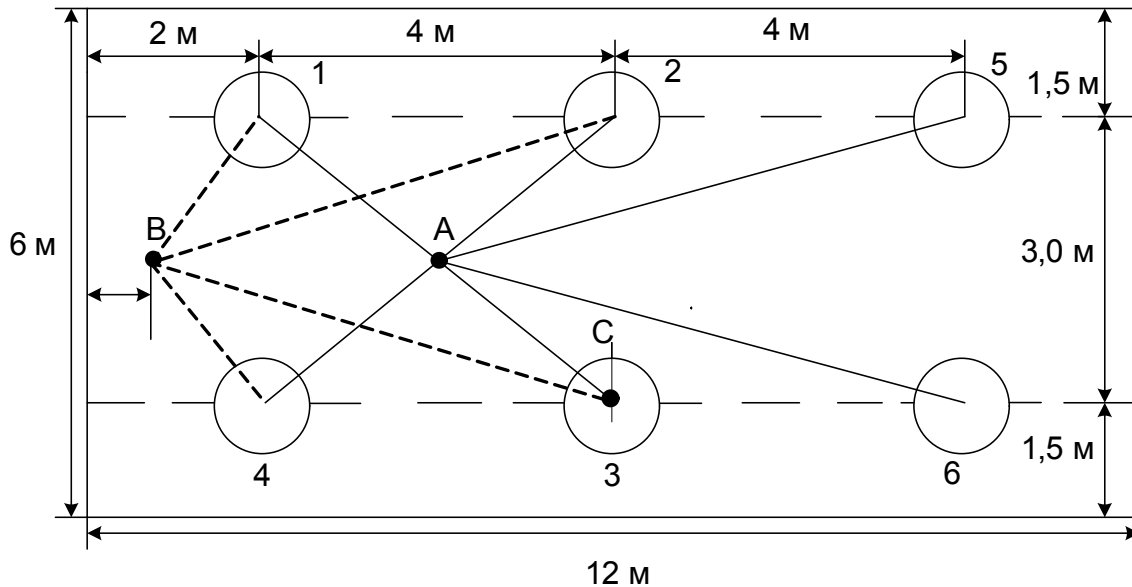


Рисунок 1.12 – Выбор контрольных точек

4. Определяем значение силы света и другие параметры в последовательности первого способа, $I_{\alpha} = 295 \cdot \cos 0,957\alpha$. Все расчеты сводим в таблицу 2.3.

Таблица 1.6 – Расчет условной освещенности

точка	Номер светильника	Расстояние d , м	Угол α , °	Сила света I_{α} , кд	$\cos^3 \alpha$	Условная освещенность, лк	
						От одного светильника	От всех светильников
A	1; 2; 3; 4; 5; 6	2,5	48	205	0,3	12,7	50,8
		6,19	70	115	0,04	0,95	1,9
							$\Sigma = 52,7$
B	1;4 2;3	1,8	39	234	0,469	22,67	45,34
		5,2	67	129	0,0597	1,59	3,18
							$\Sigma = 48,52$
C	3	0	0	295	1	60,95	60,95
	2	3	53	187	0,218	8,4	8,4
	4;6	4	61	155	0,114	3,65	7,3
	1;5	5	66	133	0,0673	1,85	3,7
							$\Sigma = 80,35$

5. В качестве расчетной принимаем точку В (наименьшая освещенность). , находим световой поток лампы:

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E \cdot k}{\mu \cdot \eta_H \cdot \sum e} = \frac{1000 \cdot 0,13}{1,5 \cdot 0,08 \cdot 8,2} \approx 1739 \text{ [лм]}.$$

По расчетному значению светового потока подбирается источник света.

5.1 Расчет относительной освещенности. Относительную освещенность можно определить по кривым относительной освещенности или по таблицам [14,17].

Относительную освещенность находят и расчетным способом:

$$\varepsilon = I_a \cdot \cos^3 \alpha.$$

Пример 2.

Исходные данные для расчета и схему размещения светильников принимаем из примера 1 (см. рис.1.12)

Решение.

1. Намечаются контрольные точки и определяются расстояния d .
 2. В зависимости от значений d находятся отношения: d/h при $d < h$;
 h/d при $d > h$.
 3. По таблицам относительной освещенности прилож.10 [12], находится относительная освещенность и $\sum \varepsilon$.
- Расчетные данные приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Расчет относительной освещенности

точка	Номер светильника	Расстояние d , м	h/d , отношение	d/h , отношение	Относительная освещенность	
					От одного светильника	От всех светильников
А	1; 2; 3; 4; 5; 6	2,5	0,88	-	58,48	233,9
		6,19	0,36	-	4,46	8,92
						$\sum = 242,82$
В	1;4 2;3	1,8	-	0,82	107	214
		5,2	0,42	-	8,26	16,52
						$\sum = 230,52$

4. Дальнейший расчет проводится для точки В:

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E \cdot k \cdot h^2}{\mu \cdot \eta_H \cdot \sum e} = \frac{1000 \cdot 0,13 \cdot 4,8}{1,5 \cdot 0,08 \cdot 8,2} \approx 1771 \text{ лм}$$

Расчетные световые потоки в примерах близки по значениям, что говорит о возможности применения любого из этих методов. Далее, выбирается источник света.

1.7. Расчет качественных показателей освещения

При расчете электрического освещения, для некоторых типов помещений, СНиП нормируют качественные характеристики: цилиндрическую освещенность; показатель дискомфорта; коэффициент пульсации; показатель ослепленности. Цилиндрическая освещенность нормируется: для читальных залов, выставочных помещений и залов, крупных конференц-залов и залов заседаний; в киноаудиториях, в концертных залах, в зрительных залах театров и клубов, в некоторых торговых помещениях.

Расчет цилиндрической освещенности рассмотрен ранее в [10,14], здесь же напомним основные положения.

Цилиндрическую освещенность $E_{\text{ц}}$, можно представить как среднюю освещенность боковой поверхности вертикального цилиндра, при стремлении его поверхности к нулю.

Цилиндрическая освещенность является одной из интегральных характеристик светового поля.

Если требуется найти цилиндрическую освещенность от одного светильника, то достаточно, вертикальную освещенность поделить на π .

Для практических расчетов приняты следующие допущения [14,17]:

- поверхности помещения считаются диффузными и равнорядными по всей площади;
- все светильники представляются в виде равнорядкой поверхности, каждый элемент которой имеет такое же светораспределение, как и светильники;
- светораспределение светильников аппроксимируется выражением вида:

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

где I_0 – сила света в вертикальном направлении;

I_{α} – сила света под углом α к точке;

m – показатель степени, находится по формуле: $m = \frac{2\pi \cdot I_0}{\Phi_H} - 1$,

(Φ_H – поток светильника в нижней полусфере, для светильников прямого света $1000 \times \text{КПД}$).

Для практических расчетов используются специальные графики, построенные в координатах (E_r : $E_{\text{ц}}$ и i) [14].

Пример 1.

Рассчитать освещение торгового зала магазина тканей с размерами (15 × 10) м и высотой 4 м. К установке приняты светильники типа ЛПО 01-2×40, КПД светильника в нижней полусфере – 0,62.

Световой поток лампы ЛБ-40 равен 3200 лм, соответственно, $\Phi_{\text{с}} = 6400$ лм.

Нормируемая $E_{\text{ц}} = 100$ лк, $\rho_{\text{с}} = 0,5$; $\rho_{\text{р}} = 0,1$.

Определить горизонтальную освещенность, для обеспечения нормируемой освещенности $E_{\text{ц}}$.

Решение

1. Определим показатель степени:

$$m = \frac{2 \cdot 3,4 \cdot 315}{1000 \times 0,8} - 1 = 2,19 \approx 2$$

2. Сила света для светильников с КСС типа Д-2, приближенно определится по выражению:

$$I_0 = \Phi \cdot \eta / 4\pi = 6400 \cdot 0,62 / 4 \cdot 3,14 = 315 \text{ кд}$$

3. Находим индекс помещения:

$$i = \frac{150}{4 \cdot (5 + 0)} = 1,5$$

4. по рис. 8-3 [14] либо рис. 9.30 [17] находим отношение $E_r : E_u = 2,8$, откуда $E_r = 2,8 \cdot E_u = 280 \text{ лк}$.

Таким образом, для обеспечения требуемой $E_u = 100 \text{ лк}$, необходимо чтобы горизонтальная освещенность была не менее 280 лк. (проверим по СНиП, $E = 300 \text{ лк}$).

При использовании графиков, надо иметь в виду, что кривые построены для разных коэффициентов отражения (для всех графиков):

- 1 - для $\rho_c = 0,3$ и $\rho_p = 0,1$;
- 2 - для $\rho_c = 0,3$ и $\rho_p = 0,3$;
- 3 - для $\rho_c = 0,5$ и $\rho_p = 0,1$;
- 4 - для $\rho_c = 0,5$ и $\rho_p = 0,3$.

Пульсация светового потока, газоразрядных источников света, обусловлена частотой питающей сети (например, при $f = 50 \text{ Гц}$, частота пульсации будет 100 Гц) и химическим составом люминофоров. Значения коэффициентов пульсации регламентируется СНиП.

Коэффициенты пульсации потока источника и освещенности определяются выражениями:

$$K_{пн} = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{2\Phi_{\varphi}}; \quad K_{\pi} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\varphi}}.$$

Значения $K_{пн}$ приведены в [14,17,18]. Уменьшить значение K_{π} можно за счет мероприятий:

- соединение источников света по специальным схемам;
- присоединение соседних светильников к разным фазам сети;
- установка в одной точке двух (трех) светильников, включенных на разные фазы сетей (ДРЛ, ДРИ и др.);

- применение многоламповых светильников, с включением ламп, на разные фазы сети.

Порядок расчета коэффициента пульсации освещенности:

- выбирается контрольная точка. (рекомендуется – под вторым светильником крайнего ряда);
- находится освещенность в контрольной точке, от светильников разных фаз сети (E_A ; E_B ; E_C);
- максимальная освещенность принимается за 100%, от фазы А (E_A), остальные определяются в процентном отношении к E_A ;
- по таблицам 9 или 10 [12] находится значение коэффициента пульсации, для условного источника света;
- определяется значение коэффициента пульсации освещенности в контрольной точке:

$$K_{\Pi} = K_T \cdot K_{\Pi И} / 100.$$

Пример 2.

Исходные данные принять по примеру 1. Освещенность в контрольной точке от ламп разных фаз составляет 300,150,75 лк.

Решение:

Принимаем: $E_A = 100\%$ (300 лк), тогда $E_B = 50\%$; $E_C = 25\%$.

По таблице 10 [14] находим $K_T = 42,5 \%$; по таблице 8 [14], для ламп типа ЛБ, определяем: $K_{\Pi И} = 34\%$.

Коэффициент пульсации освещенности будет равен: $K_{\Pi} = 42,5 \cdot 34 / 100 = 14,45 \%$.

Проверим соответствие рассчитанного K_{Π} и нормируемого $K_{\Pi Н}$ (СНиП), для данного помещения $K_{\Pi Н} = 15\%$, что больше расчетного, т.е. условие выполняется.

Показатель дискомфорта так же регламентируется. В [28] приводятся условия, при которых обеспечиваются нормированные значения показателя дискомфорта (М).

При необходимости, показатель М можно найти по формуле:

$$M = M_T \cdot m,$$

M_T – основное значение показателя, табл. 8-7 [14] или табл. 9.28 [17];

m – коэффициент, ($m = 0,5 \sqrt{\Phi_H / \sigma}$);

Φ_H – реальный поток в нижней полусфере, клм;

σ – площадь выходного отверстия светильника, м²)

Коэффициент m можно определить и по формуле примера 1.

Пример 3.

Исходные данные принять по примеру 1. Для данного помещения, показатель дискомфорта равен 40 (СНиП).

Решение:

Определим поправочный коэффициент:

$$m = 0,5 \sqrt{\Phi_H / \sigma} = 0,5 \sqrt{6,400 \cdot 0,8 / 0,1} = 2,17 \approx 2. \text{ (см. пример 1, } m = 2)$$

Для светильников ЛПО 01 $A = 1246$ мм, $B = 166$ мм, тогда $\sigma = 1,246 \times 0,166 \approx 0,21 \text{ м}^2$.

По табл. 8-7 [14], при $B: h = 10 / 2,5 = 4$, $A: h = 15/2,5 = 6$, $m = 2$ (h – высота над горизонтальной линией зрения наблюдателя, расположенной на 1,5 м от пола, $h = 4 - 1,5 = 2,5$), находим $M_T = 16$ (при $\rho = 70; 50; 10$), тогда, $M = 16 \cdot 2 = 32$, что меньше нормируемого значения.

Рассмотренные качественные показатели – цилиндрическая освещенность, коэффициент пульсации и показатель дискомфорта нормируются для общественных помещений, жилых и вспомогательных зданий.

Для общепроизводственных помещений нормируются коэффициент пульсации и показатель ослепленности.

Показатель ослепленности ОУ определяется выражением [14,18,19]:

$$P = \frac{k \cdot 10^{-3}}{L_{pl}} \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{I_{yi} \cdot \cos \theta_i}{l_i^2 \cdot \theta_i^2} \right)^{3/2} \right]^{3/2},$$

k – коэффициент, зависящий от яркости и спектрального состава лампы:

$k = (3 \lg L - 8,54) \cdot \alpha$ - для светильников с $L < 10^6 \text{ кд/м}^2$;

$k = 9,46 \cdot \alpha$ - для светильников с $L > 10^6 \text{ кд/м}^2$;

L – яркость светильника;

$\alpha = 1$ для Л.Н.; $\alpha = 1,1$ для МГЛ; $\alpha = 1,6$ для ДРЛ; $\alpha = 1,4$ для Л.Л. типа ЛБ, ЛХБ, ЛТБ, и ЛЕ; $\alpha = 1,7$ для Л.Л. типа ЛД и ЛДЦ;

I_{yi} – сила света, i -го светильника в направлении к глазу наблюдателя, кд;

θ_i – угол действия i -го блеского источника, град;

l_i – расстояние от i -го источника до наблюдателя, м;

n – количество светильников;

L_{pl} – яркость рабочей поверхности, кд/м^2 .

При расчете показателя ослепленности используются таблицы [14,19].

Пример 4.

Оценить ОУ слесарно-механического цеха с точки зрения слепящего действия. Освещение цеха выполнено светильниками ПВЛМ 2×80, линиями с отношением $l/h=1,5$ ($h = 4, 5$ м), нормируемый показатель ослепленности, $p = 20$; разряд работ II б.

Решение

1. По табл. 9.22 [17] определяем группу данных светильников: группа 2; КСС-Д; защитный угол 15° .

2. По таблице 9.26 [14,17] для светильников 2 гр. С лампами ЛБ 80, $h = 4,5$ и $p = 20$, находится знак «+», который означает, что при $h > 4$ м возможно любое соотношение l/h . Таким образом, ОУ удовлетворяет требованиям.

Приложение 2

Приборное обеспечение энергоаудита

Наименование прибора	Погрешность измерений	Дата следующей поверки
Тепловизор testo 875i	(-20...100 °C) ± 2 °C (350...550 °C) ± 3 °C	
Лазерный дальномер DISTO D3	$\pm 2\%$	
Газоанализатор testo 310	$\pm 5^\circ\text{C}$	
Толщиномер ультразвуковой ПП-1-04	$\pm 1\%$	
Пирометр инфракрасный ПИТОН-102	$\pm 2\%$	
Люксметр «ТКА-Люкс»	$\pm 2\%$	
Термометры контактные цифровые ТК-5.06	± 0.5 °C	
Измеритель показателей качества электрической энергии FLUKE 43B		
Приборная база для светоаудита	Сертифицированы по ИСО 9001-2001	Погрешность, %
Люксметр-яркомер ТКА - ПКМ	(10...200000)лк (10...200000)кд/м ²	± 8 ± 10
Пульсметр-люксметр ТКА – ПКМ /08	(10...200000)лк Кп от1 до100 %	± 8 ± 10
Спектроколориметр ТКА-ВД : освещенность – Коррелированная цветовая температура – Координат цветности –	(10...200000)лк (1600...16000) К (2 системы МКО)	± 10 ± 5 $\pm 0,005...0,002$
Люксметры типа Ю-117		$\pm 0,5$

Приборы для проведения энергоаудита наружного освещения

При проведении энергоаудита требуются такие же приборы:

- люксметр-яркомер – прибор для измерения величин яркости и освещенности;
- лазерный дальномер – прибор для дистанционного измерения расстояний и углов или рулетка;
- клещи токоизмерительные с мультиметром – прибор для моментальных измерений параметров (напряжение, сила тока, активное сопротивление) цепей переменного и постоянного тока на электроустановках промышленных, административных и жилых зданий;
- анализатор количества и качества электрической энергии – прибор для определения параметров электрической сети (одно- или трехфазной) с функцией записи через заданные промежутки времени. Используется энергоаудиторами для диагностики распределения электрической активной и реактивной мощности по фазам, фазного сдвига и др. К данному прибору необходимо иметь токоизмерительные клещи (могут не входить в стандартный комплект поставки) для различных значений силы тока.

Приложение 3

Программные средства для расчета электрического освещения

DIALux – программа разработана германским институтом прикладной светотехники (DIAL) и распространяется свободно в сети Интернет. Она позволяет загружать (в виде вспомогательных программ) базы данных СП около 40 ведущих фирм – производителей световых приборов. Кроме того, она предоставляет возможность загружать файлы с фотометрическими данными световых приборов в форматах IES и LDT. Программа предназначена для проектирования освещения интерьеров, экстерьеров и дорожного освещения. Она ориентирована на быстрый расчет, поэтому эффективно работает со сценами, не перегруженными мелкими деталями. Кроме основной программы, имеются версии для наружного освещения DIALuxExt и упрощенная версия DIALuxLight для проведения типовых расчетов. Интерфейс программы русифицирован, имеется также руководство пользователя (Manual) на русском языке. Имеется версия расчета естественного освещения.

Calculux. Программа разработана фирмой Philips Lighting. Существует в нескольких модификациях (AREA – для открытых площадок и ROAD – для дорог). Хотя основным форматом данных Calculux является Philips Phillum, программа позволяет вводить и другие фотометрические форматы (IES, LDT, TM14 и др.). Calculux дает возможность рассчитывать освещенность на прямоугольных поверхностях в любой плоскости, определяемой пользователем. В программе можно самостоятельно задавать количество расчетных точек, создавать группы светильников и при этом ориентировать как отдельный светильник, так и целую их группу. В программе AREA задано большое количество стандартных спортивных площадок, что очень удобно при расчете закрытых и открытых сооружений. Есть возможность выбора языка для интерфейса и отчета. Программа предоставляется для свободного скачивания с сайта компании Philips Lighting.

Faellite 6.0. Программа разработана компанией ОхуТех (Италия) по заказу компании Pael Luce (Италия) для расчета освещенности и яркости в помещениях, на открытых площадках и открытых пространствах. Она позволяет рассчитать горизонтальную, вертикальную и полуцилиндрическую освещенности, яркость поверхности и коэффициент дискомфорта. Используется для расчета освещения спортивных объектов и концертных залов. Faellite 6.0 позволяет использовать созданные в AutoCAD трехмерные модели мебели (в формате DXF). Результаты светотехнических расчетов могут быть представлены в отчете в графическом, табличном или трехмерном виде. Имеются интерфейс на английском и других европейских языках и возможность вывода отчета на русском языке.

Light-in-Night Road 5.0. Программа разработана, российской компанией ЗАО НПСР «Светосервис». Программа является специализированным продуктом для расчета уличного и паркового освещения. Программа имеет закрытую базу данных ОП, содержащую номенклатуру уличных и парковых светильников.

Она базируется на российской методологии расчета и отечественных нормах, а также принятых в России фотометрических характеристиках дорожных покрытий.

Кроме основных расчетных параметров (распределения яркости и освещенности в графическом и табличном виде), программа позволяет определить другие нормируемые показатели: общий и продольный коэффициенты равномерности яркости, показатель ослепленности, полуцилиндрическую освещенность. Программа имеет русскоязычный интерфейс. Справка и отчет и обеспечиваются оперативной технической поддержкой. Распространяется программа бесплатно с сайта www.light-in-night.com или на CD-ROM через ТД «Светотехника». Имеются и другие программы расчета электрического и естественного освещения. В данном пособии не возможно рассмотреть все программы, перечисленные выше, поэтому предлагается ознакомиться с наиболее распространенной программой **DIALUX**.

Работа в программе DIALUX 4.2

DIALux запускается на всех текущих платформах Windows и постоянно модернизируется.

Версии программы и обновления DIALux могут быть загружены с сайта <http://www.dialux.com>.

DIALux предназначен для тех, кто имеет отношение к проектированию освещения. Если расчетная программа требуется время от времени, то можно воспользоваться **Ассистентом DIALux Light**, обеспечивающим расчет освещения всего за несколько шагов.

Профессиональный проектировщик может решить с помощью DIALux любую задачу по расчету освещения, как закрытых, так и открытых пространств, согласно существующим нормативным документам. В результате расчета можно получить все необходимые данные для реализации проекта и фотореалистичную визуализацию проекта.

Системные требования:

- Процессор, P III или выше;
- Тактовая частота, 800 МГц или выше
- Оперативная память, 256 МБ RAM
- Графическая карта, OpenGL-совместимая графическая карта, 1280x1024
- Поддерживаемые операционные системы
- Windows 98
- Windows 98 SE
- Windows ME
- Windows NT 4.0 (с SP6)
- Windows 2000 (с SP3)
- Windows XP Home Edition
- Windows XP Professional

Установка

Установка DIALux достаточно проста. Во время установки необходимо закрыть все работающие программы.

Установка после загрузки из Интернет

После того, как загружен файл **DIALux Setup (номер версии).exe** с домашней страницы (www.DIAL.de или www.dialux.com) на жесткий диск компьютера, можно запустить этот файл одним двойным щелчком правой кнопки мыши. После этого необходимо следовать инструкциям, появляющимся на экране (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – DIALux Setup

Возможно, программа установки DIALux попросит Вас установить более новую версию Microsoft Internet Explorer. Для установки требуется версия 5.5 или выше и ее можно загрузить с www.microsoft.com.

Программа установки автоматически проверяет, какие компоненты нужны для данного компьютера. Они загружаются автоматически.

Программа установки позволяет устанавливать только компоненты, которые действительно необходимы (предоставляется возможность выбора языков интерфейса, файлов справки, мебели, текстур). Недостающие компоненты могут быть легко добавлены при повторном запуске программы установки (рис. 3.2).

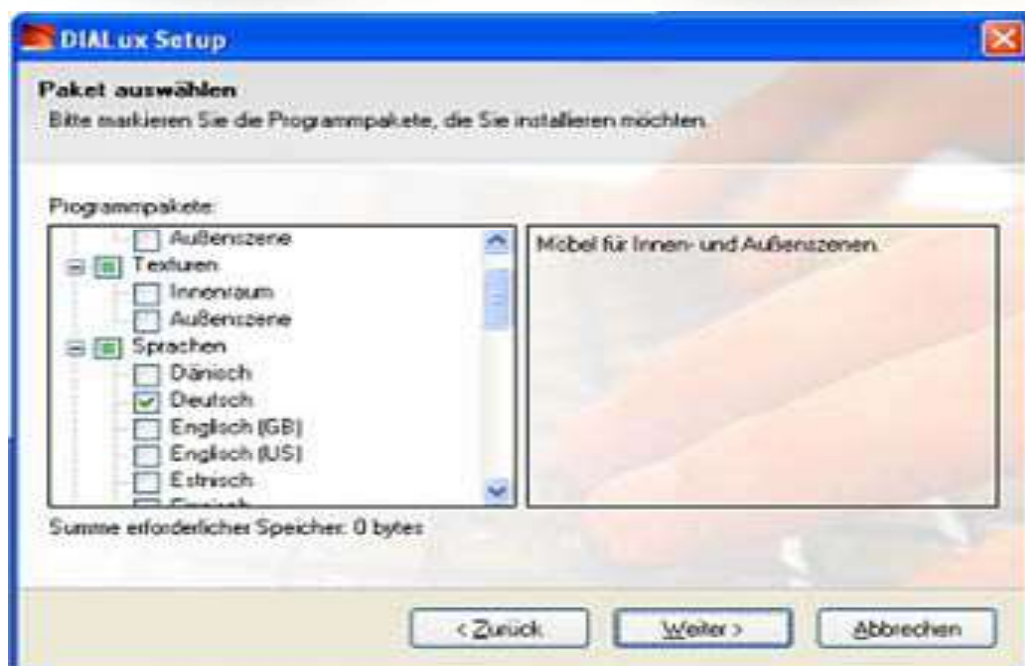


Рисунок 3.2 – Выбор компонентов для установки

Установка с CD

Если устанавливается DIALux с CD, просто вставьте в дисковод компакт-диск DIALux. После этого автоматически запускается окно приветствия. Далее, необходимо следовать инструкциям. Если программа установки определит, что на компьютере еще не установлена программа Microsoft Internet Explorer версии 5.5, поступит запрос на установку требуемой версии.



Рисунок 3.3 – Броузер компакт-диска DIALux

Меню Онлайн

Теперь в DIALux имеется новое меню **Онлайн**. В нем собраны некоторые полезные функции для контактов с DIAL.



Рисунок 3.4 – Меню Онлайн DIALux

Онлайновое обновление версии

Если в меню **Онлайн** выбрать **Онлайновое обновление версии...** DIALux автоматически проверит наличие обновленной версии программы и новых интерактивных каталогов (PlugIns).

Установка данных светильников

DIALux всегда поставляется без данных светильников. **PlugIns** (каталоги) с данными светильников доступны непосредственно у фирм-производителей. Их можно загрузить PlugIns с домашней страницы, либо запросить CD с данными светильников. Номер телефона и контактные адреса на домашней странице www.DIAL.de в разделе **Data**.

PlugIns можно щелкнуть в дереве светильников DIALux на одном из не установленных каталогов. После этого открывается окно, которое выделяет ссылку на соответствующего изготовителя и контактные адреса.

После загрузки каталога, можно запустить его одним двойным щелчком (перед этим, надо закрыть DIALux). Затем, активизируется программа установки, и можно следовать командам на экране. После завершения инсталляции, снова запустить DIALux, в дереве светильников теперь отображается новый каталог. Активизируется он одним двойным щелчком.

Если каталог устанавливается с CD изготовителя, просто вставьте компакт-диск. При нормальных условиях отображается стартовое окно, и можно следовать перечисленным инструкциям (перед этим, закрыть DIALux).

Если окно запуска не открылось автоматически, запустите Проводник Windows и перейдите в каталог PlugIns компакт-диска. Один двойной щелчок на PlugIn открывает его, а остальное идет автоматически.

Об интерактивных каталогах

DIALux предоставляет возможность использовать каталоги интерактивно.

Интерактивные каталоги имеют преимущество в том, что применять в проекте DIALux можно только те светильники, которые необходимы на данное время, не устанавливая полный каталог на ПК.

Ассистент DIALux Light

Начиная с версии 3.1, в DIALux есть **Ассистент DIALux Light**. С помощью ассистента можно быстро и просто произвести расчет. Таким образом, пользователи, которые редко работают с расчетной программой, могут использовать DIALux Light, без необходимости полностью изучать все.

После инсталляции, ярлык DIALux Light находится непосредственно на рабочем столе около «нормального» ярлыка DIALux. Запуск ассистента осуществляется одним двойным щелчком.

Если DIALux запущен, ассистента DIALux Light можно найти в меню **Файл > Ассистенты** (рис.3.5).



Рисунок 3.5 – Ассистент DIALux Light – ярлык DIALux Light

После запуска DIALux Light появится диалоговое окно приветствия. Если вся информация просмотрена, щелкните на кнопку **Далее**.



Рисунок 3.6 - Ассистент DIALux Light – Начало

В окне **Проектная информация**, при необходимости, вводятся данные. Они будут присутствовать на распечатке (рис.3.7).

Рисунок 3.7 – Ассистент DIALux Light – Проектная информация

В окне **Ввод данных** определяется геометрия помещения в соответствующих полях. По умолчанию DIALux Light предлагает прямоугольную комнату. Если установить флажок в поле **L-образная комната**, DIALux Light покажет L-образную комнату. Длины сторон комнаты a, b, c и d показаны на рисунке 3.8. Можно изменять в соответствующих полях коэффициенты отражения потолка, стен и пола. Установленный коэффициент отражения стен применяется ко всем существующим стенам.



Затем, каталог закрывается. Теперь DIALux Light показывает выбранный светильник в соответствующем поле. (По умолчанию, всегда отображается последний использованный светильник).



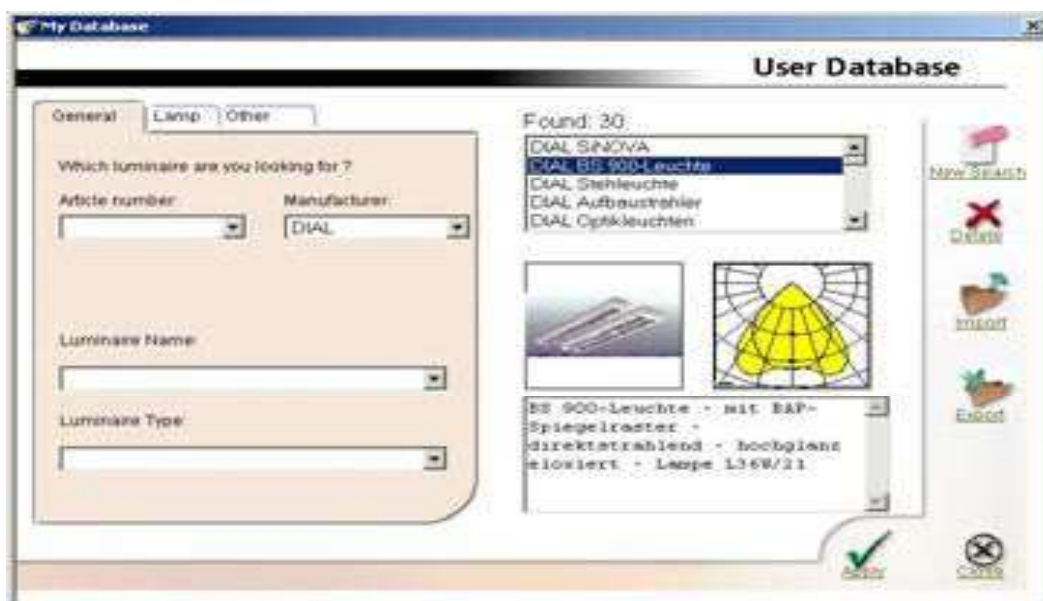


Рисунок 3.10 - Ассистент DIALux Light – Собственный банк данных

В окне **Расчет и результаты** DIALux Light готовятся данные для расчета.

Чтобы достичь требуемой освещенности. Необходимо ввести данные освещенности в поле **Планируемая освещенность E_m** (нормируемая освещенность). Светильники, которые находятся вне комнаты, не рассматриваются в расчете DIALux Light (3.11).

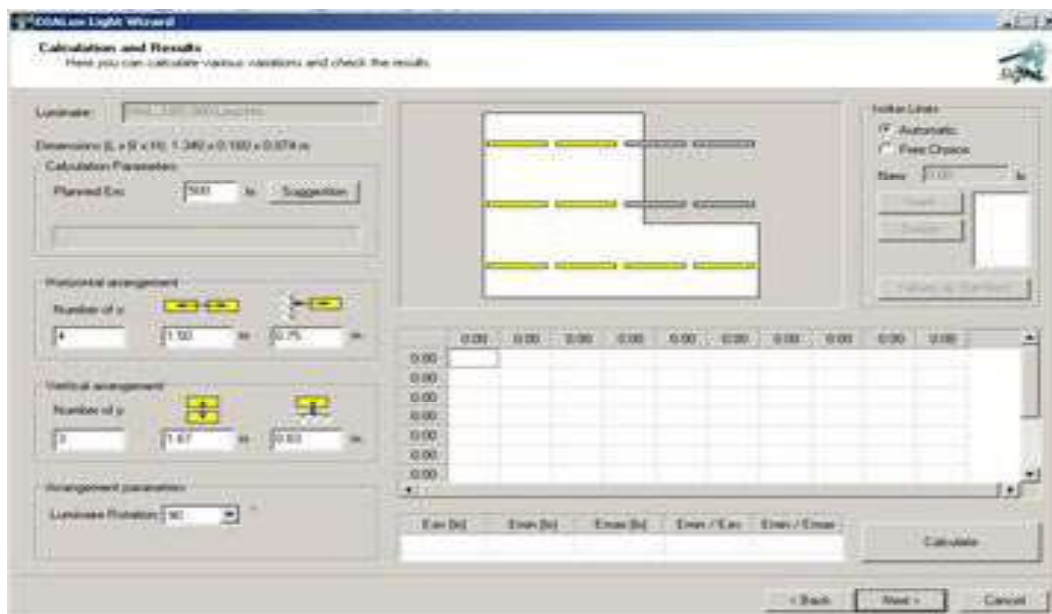


Рисунок 3.11 Ассистент DIALux Light – Расчет

В полях **Горизонтальное расположение** или **Вертикальное расположение**, устанавливаются расстояния между светильниками и расстояния от стен. Если определены расстояния между рядами и между светильниками, надо щелкнуть **Рассчитать** и DIALux Light запустит.

Затем DIALux Light показывает результаты в виде рисунка из линий изолюкс и таблицы для рабочей плоскости (рис. 3.12).

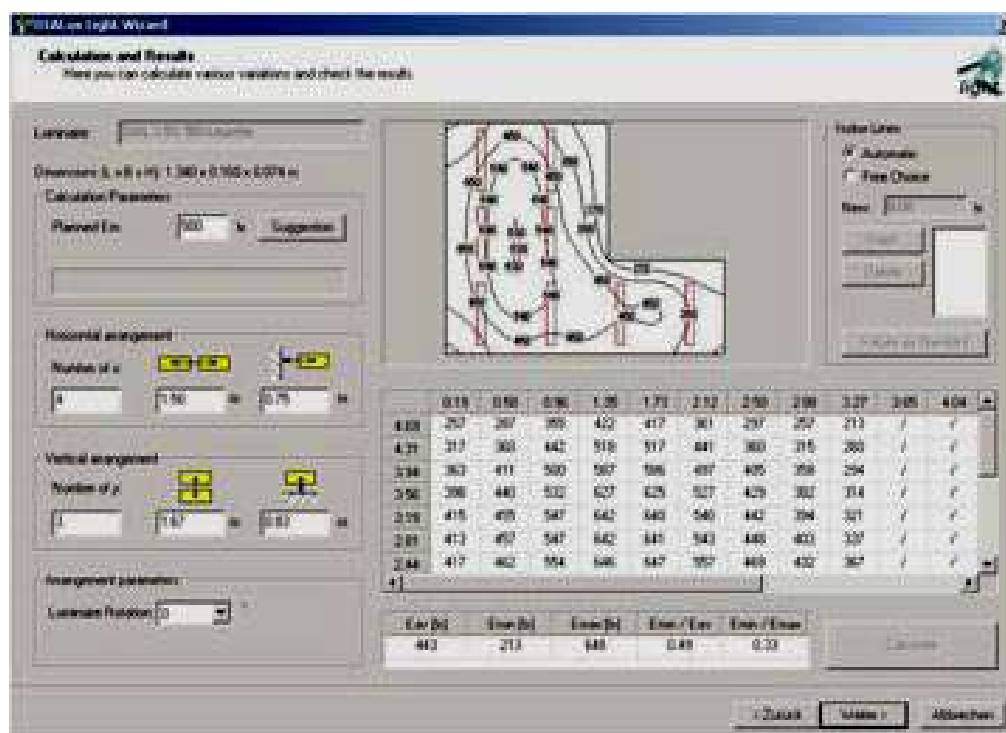


Рисунок 3.12 – Ассистент DIALux Light – Результаты расчета

В окне **Вывести результаты**, можно выбрать печать результатов или сохранение их в электронной форме как PDF файл. Для этого надо щелкнуть по соответствующей кнопке. Используя поля рядом с символами распечатки, можно выбирать, какие результаты должны действительно распечатываться.

По умолчанию все результаты активированы. Если требуется выбрать краткий обзор, активируется только резюме. Если надо полностью представить результаты активируются все результаты (рис. 3.13).

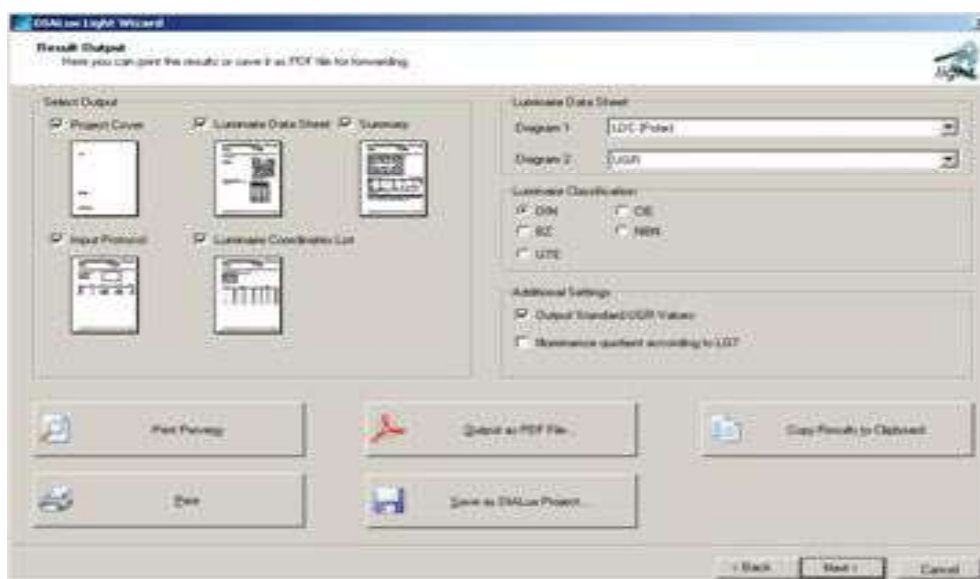


Рисунок 3.13 - Ассистент DIALux Light – Вывести результаты

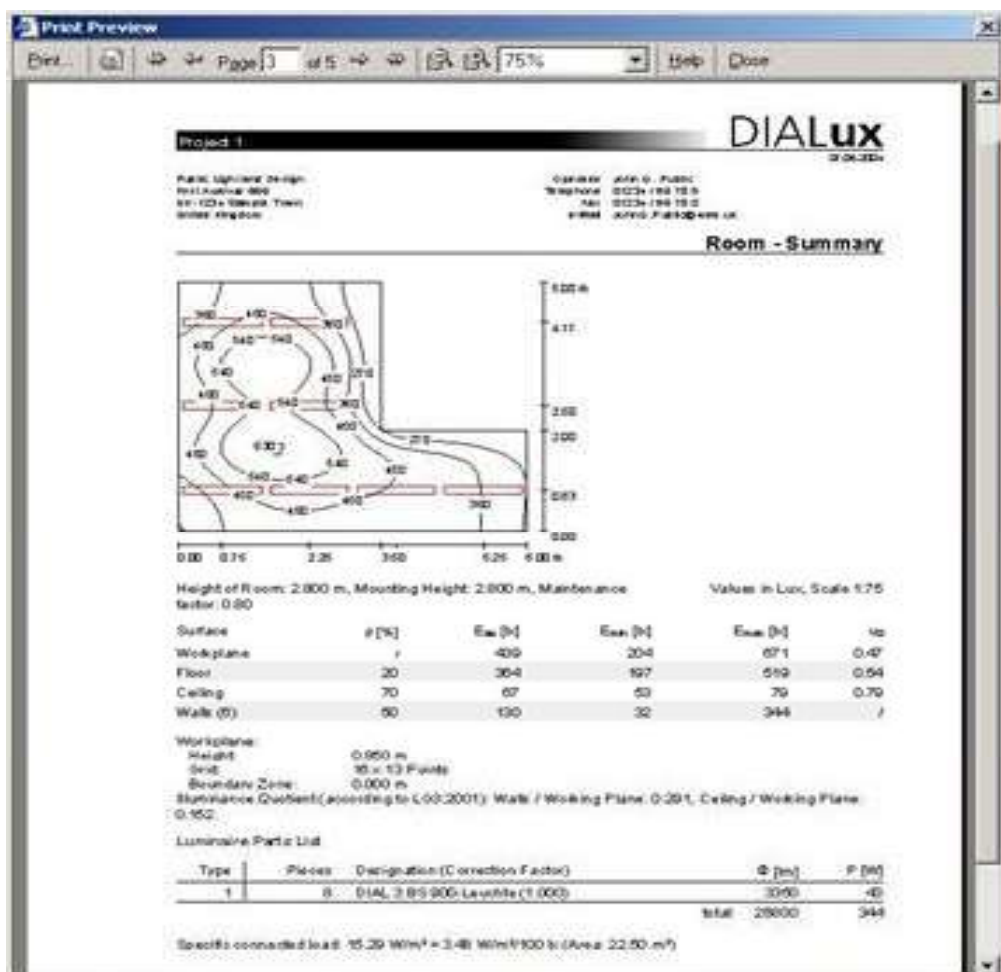


Рисунок 3.14 – Ассистент DIALux Light – Результаты

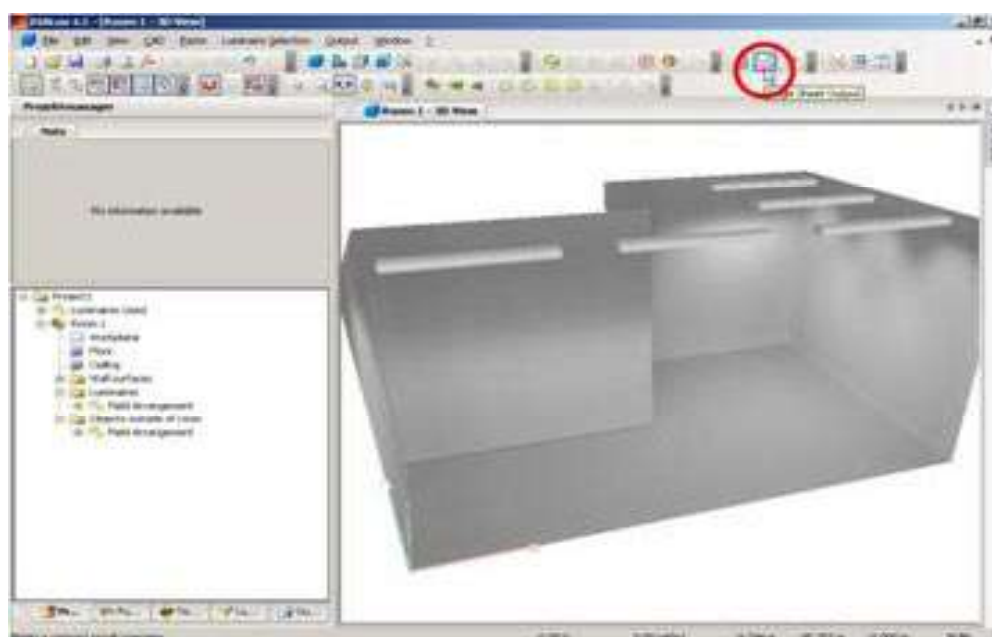


Рисунок 3.15 – Визуально представленный результат

В конце работы Ассистента DIALux Light отображается заключительный диалог. После того, как будет закрыт DIALux Light, результаты расчета представляются как трехмерный тонированный вид в окне программы DIALux. Здесь имеется возможность сохранения результатов расчета с помощью меню **Файл > Сохранить**.

Работа с программой для расчета освещения открытых пространств.

DIALux обеспечивает все важные опции для размещения уличных светильников. Сначала выбираются светильники в Каталоге и загружаются в проект. Затем, в менеджере выбирается проект улицы, используя опцию «Ввести группу улиц» и выбирается изделие из списка светильников.

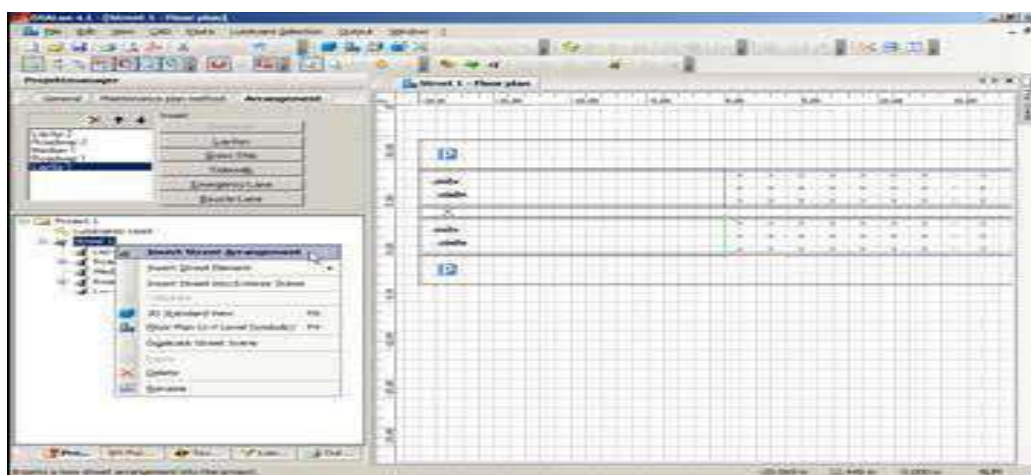


Рисунок 3.16 – Вставка уличной осветительной установки с помощью контекстного меню



Рисунок 3.17 – «Ввести группу светильников» – «Светильник»

Страница свойств «Светильник» открывает доступ к выбору светильников, а также вводу технических данных (Рис. 3.18)

Рисунок 3.18 – Ввести группу светильников – Мачта / консоль

На странице свойств «**Мачта/консоль**» можно определить различные свойства вылета и расстановки опор (мачт).

Эскиз на странице свойств поясняет термины «**Длина консоли**» и «**Наклон консоли**». «**Вылет**» определяет, как далеко середина плоскости светильника (центр тяжести светильника) выдается над проезжей частью. «**Расстояние мачта – проезжая часть**» измеряется между точкой основания опоры и границей проезжей части. Дополнительно Вы можете определить здесь параметры «**Расположения мачт**» (Рис. 3.19).

Рисунок 3.19 – «Ввести группу светильников» – «Выбор типа компоновки»

Хороший способ получить оптимальное расстояние между светильниками состоит в том, чтобы использовать страницу свойств «**Оптимизация**». Из списка «**Тип компоновки**» выбирается тип установки светильников вдоль улицы. Здесь, доступны любые виды установок.

В списке «**Критериальное поле**» выбирается требуемый элемент улицы и определяются фотометрические значения для проезжей части (класс освещения и условия освещенности). На этой странице свойств минимальные значения, которые будут достигнуты для соответствующего класса освещения, уже введены. Если оптимизируют улицу для других значений, вводятся требуемые предельные параметры. Оптимизация активизируется с помощью кнопки «**Начать оптимизацию**» (Рис. 3.20).

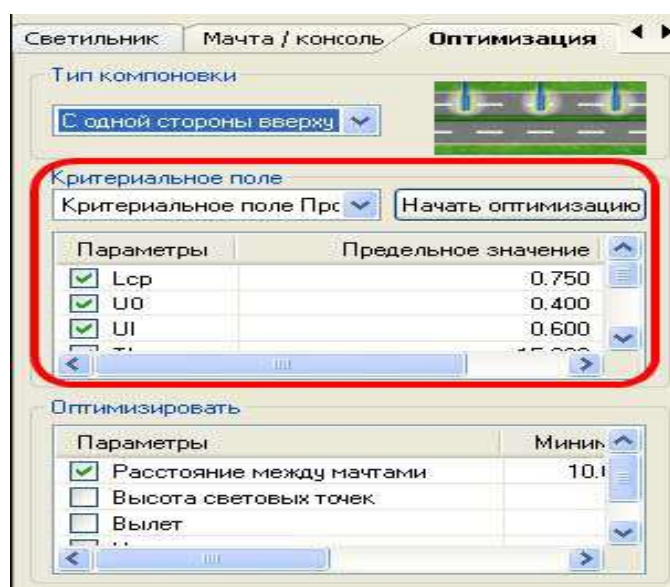


Рисунок 3.21 – «Ввести группу светильников «Оптимизация/ Критериальное поле»

Затем DIALux вычисляет, согласно выбору и весомости параметров, оптимальное расстояние между опорами, высоту над рабочей поверхностью, вылет и наклон.

Переключатели (галочки) обеспечивают активацию или деактивацию параметров, которые будут оптимизированы. Целью оптимизации является определение максимального расстояния между опорами, минимальной высоты над рабочей поверхностью, минимального вылета и/или минимального наклона консоли (Рис. 3.22).

Оптимизация проводится до размещения установки; однако, она может быть также выполнена и позднее.

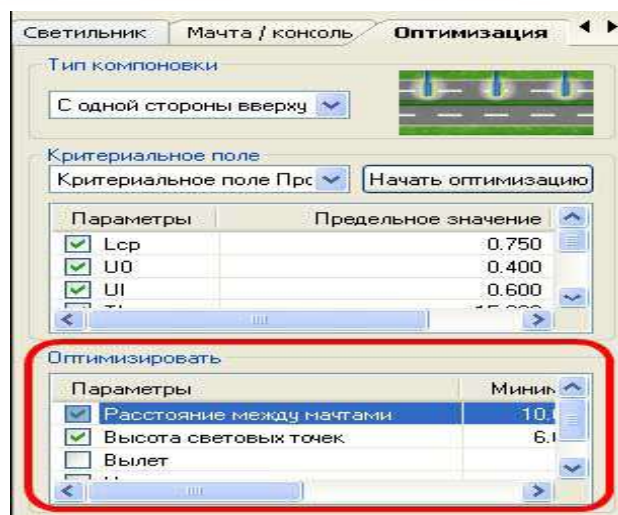


Рисунок 3.22 – «Ввести группу светильников» – «Оптимизация»

Альтернативно, можно ввести значения также численно, чтобы установить минимум, максимум или шаг соответствующих параметров. Чтобы вставить установку светильников в проект, щелкнув на кнопке «**Вставить**».

В контекстном меню уличной установки можно индивидуально оптимизировать установку светильников. Для этого выбирается, с помощью правой кнопки мыши, уличная установка в «менеджере проекта» и в контекстном меню – «Компоновку оптимизировать» (Рис. 3.23).

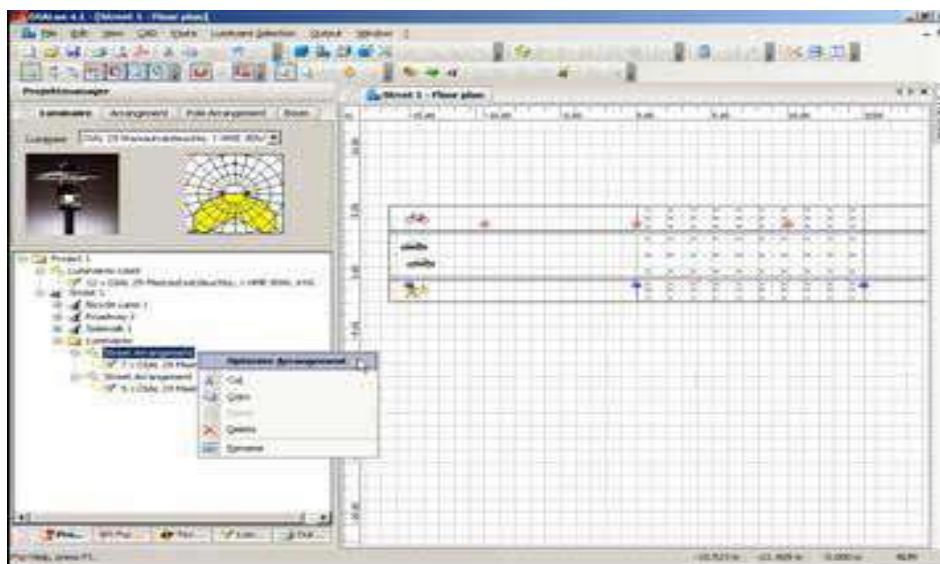


Рисунок 3.23 – «Уличная осветительная установка» – «Компоновку оптимизировать»

Установка светильника всегда определяет соответствующее критериальное поле. Если устанавливается несколько светильников, результирующее критериальное поле зависит от каждого случая максимального расстояния между двумя светильниками (опорами), показанными в следующем примере (Рис. 3.24). Поэтому светильники нижней установки определяют расчетное поле.

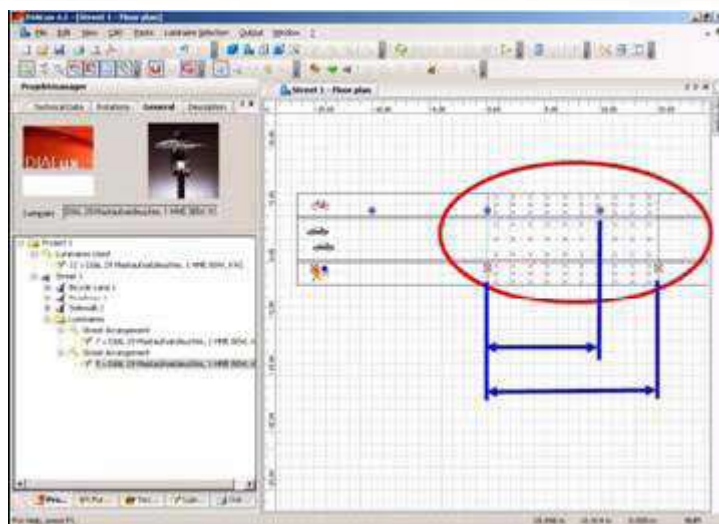


Рисунок 3.24 – Расчетное поле на плане

Начальная точка установки относительно расчетного поля может быть изменена на странице свойств «**Расположение мачт**» – «**Продольный сдвиг**».

Инспектор отображает технические данные принятой осветительной установки. DIALux показывает улицу в двухмерном и в трехмерном виде (Рис. 3.25, 3.26). Можно вращать, изменять масштаб изображения, передвигаться в трехмерном виде и экспортировать его в формате *.jpg подобно всем другим сценам.

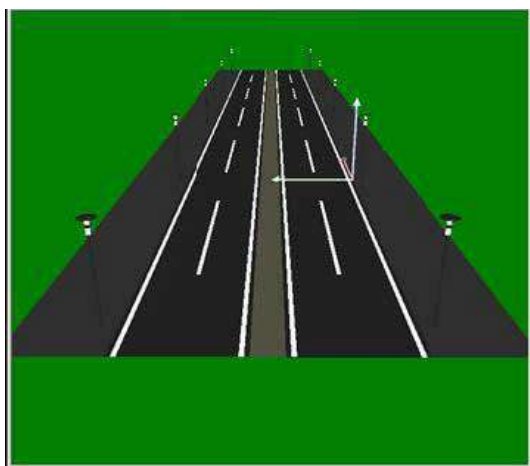


Рисунок 3.25 – Трехмерная визуализация улицы

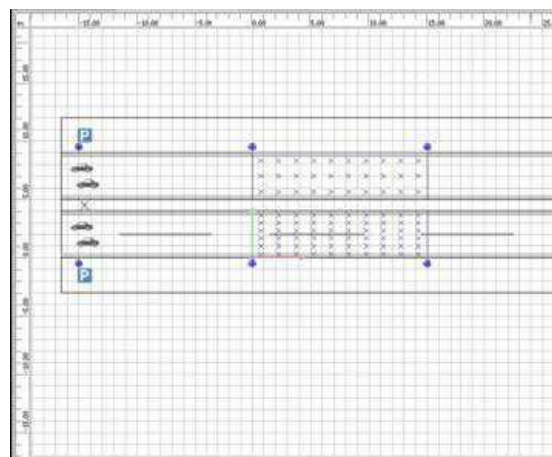


Рисунок 3.26 – Вид улицы в плане

Тонированный вид показывает распределение освещенности, а не яркости. На виде в плане, DIALux показывает «критериальное поле/расчетную сетку» вместе с элементами улицы и светильниками.

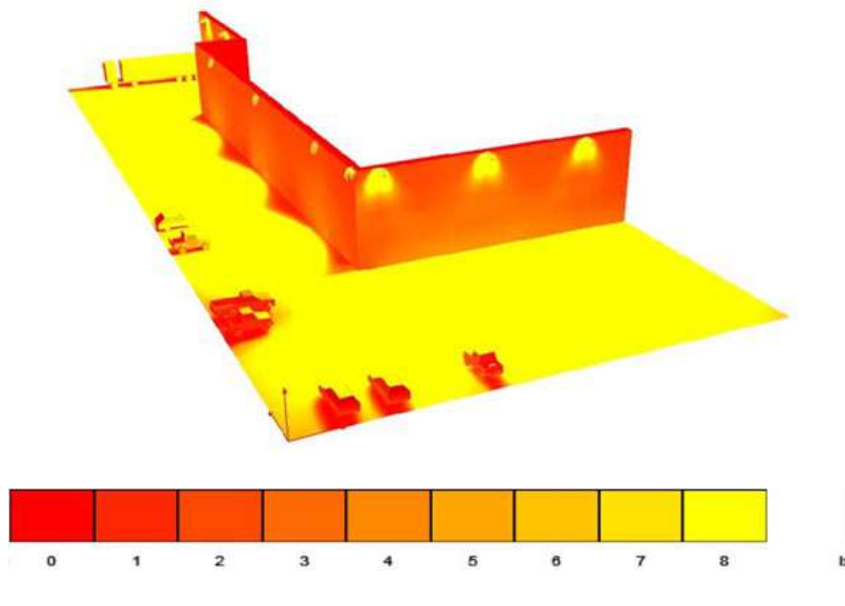
Для примера рассмотрим расчет освещения уличной парковки и проведем сравнительный анализ двух вариантов¹.

Первый вариант:

- LEADER UMA 250H (прожекторного типа, с лампой ДРИ 250, $\Phi=20000$ лм);
- количество – 9 шт.;
- коэффициент запаса – 1.5;
- нормируемая освещенность, $E = 8$ лк.



Визуализация в Dialux показывает, что Освещенность равномерная и находится в нормируемых пределах (8 лк).



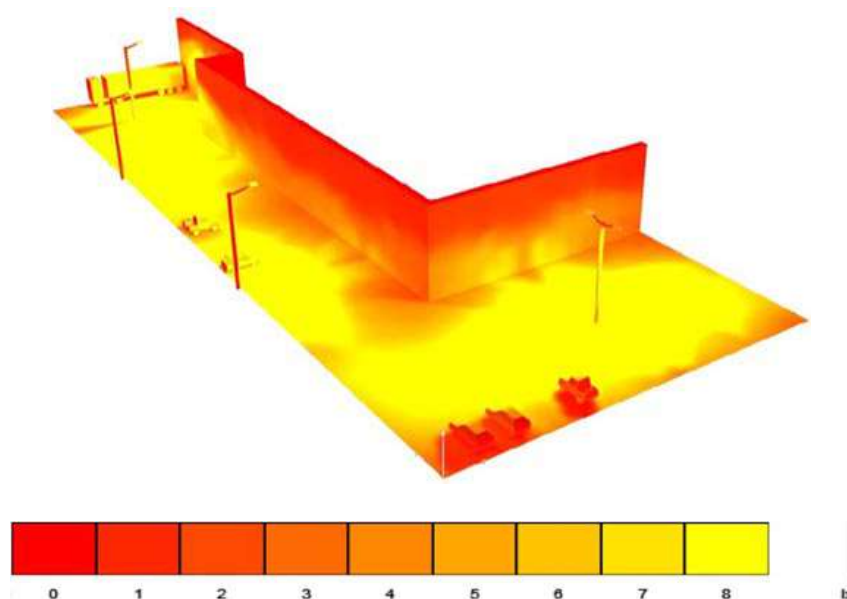
Второй вариант:

- FALCON NTK 70 150H (светильник консольного типа, с лампой ДРИ 150, $\Phi = 12900$ лм);
- количество – 5 шт.;
- коэффициент запаса – 1.5;
- нормируемая освещенность, $E = 8$ лк.

Для обоих вариантов, в качестве источников света, могут применяться лампы ДРИ и ДНаТ с ЭмПРА.



Визуализация в Dialux показывает, что освещенность на основной территории соответствует нормативной, но имеются зоны с освещенностью ниже нормируемой и составляют 2-6 лк (темные пятна, см. диаграмму).



Таким образом, необходимо дорабатывать проект и приводить в соответствие количественные и качественные характеристики (потребуется дополнительная установка 2 – 3 светильников).

Учитывая, что данный тип светильника имеет лучшие светотехнические характеристики и меньшую потребляемую мощность, появляется возможность экономии электрической энергии и соответственно снижение расходов по оплате за электроэнергию.

Однако, следует иметь в виду, что для второго варианта потребуются большие первоначальные затраты (стоимость опор, кронштейнов, монтаж).

Мощность потребляемая из сети одним ОП (с ПРА) для первого варианта составляет 300 Вт, для второго 180 Вт. Общая потребляемая мощность для первого варианта (9 шт.) 2,7 кВт, для второго (7 шт.) 1,26 кВт.

Таким образом, энергосбережение составит 1,4 кВт, энергоэффективность в пределах 66%, период окупаемости инвестиций более года.

Приложение 4

Типовой учебный план и программа подготовки энергетических аудиторов

Министерство индустрии и новых технологий
Республики Казахстан

Типовой учебный план и ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ ЭНЕРГОАУДИТОРОВ (250 часов)

Проект ПРООН/ГЭФ
«Продвижение энергетически эффективного освещения в Республике Казахстан»

Астана – 2014

Министерство индустрии и новых технологий
Республики Казахстан

Утверждаю:
«__»_____2014 г.

Согласовано:
«__»_____2014 г.

**Типовой учебный план и
ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ ЭНЕРГОАУДИТОРОВ
(250 ч.)**

согласно проекту ПРООН/ГЭФ
«Продвижение энергетически эффективного освещения в Республике Казахстан»

Астана – 2014

1. Область применения

Данный план и программа устанавливают основные требования к содержанию подготовки энергетических аудиторов зданий и сооружений, приобретения ими необходимых навыков и компетенций с учетом современных требований, оценке уровня подготовленности слушателей к практической деятельности.

Программа разработана на основе международных документов, документов и нормативно-законодательной базы РК в сфере энергетического аудита и энергосбережения, с учетом утвержденных типового учебного плана и программы МИНТ РК.

Предлагается взамен существующего учебного плана и программы.

Рекомендуется для применения **Центрами энергосбережения и распространения знаний**, другими организациями, имеющими право на подготовку и переподготовку энергетических аудиторов.

Подготовку энергетических аудиторов осуществляют центры независимо от их формы собственности, ведомственной подчиненности и организационно-правовой формы, при наличии состава преподавателей имеющих высшее образование, соответствующее дисциплинам учебного плана и наличии не менее двух-трех сотрудников с сертификатами энергетических аудиторов, имеющих право преподавания. Центры должны иметь соответствующее программное обеспечение.

2. Нормативные ссылки

При подготовке программы использованы документы:

- Закон Республики Казахстан от 27 июля 2007 года «Об образовании»;
- ГОСО РК 5.04.019-2011 «Высшее образование. Основные положения», утвержденные приказом Министра образования и науки Республики Казахстан от 17 июня 2011 года № 261;
- Правила организации учебного процесса по кредитной технологии обучения, утвержденные приказом Министра образования и науки Республики Казахстан от 20 апреля 2011 года № 152;
- Типовые правила проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации, обучающихся в высших учебных заведениях, утвержденных приказом Министра образования и науки Республики Казахстан, от 18 марта 2008 года № 125 (с изменениями и дополнениями от 16 марта 2011 года № 94)

3. Общие положения

Программа подготовки энергетических аудиторов рассчитана на 250 часов, в течение трех сессий. Указанные часы распределяются на теоретическое обучение, включающее в себя лекционные, практические и лабораторные занятия, а так же на самостоятельную работу. В теоретическом курсе рассматриваются: основные понятия и определения; необходимость энергосбережения и роль аудиторов; существующая ситуация в странах Европейского Союза (ЕС) и Республике Казахстан; Европейская законодательная база и законодательная база РК; действующие и перспективные проекты данного направления в РК; энергетический аудит зданий, сооружений и промышленных предприятий; энергосбережение в теплоэнергетике и электроэнергетике; в системах водоснабжения, электрическом освещении и других системах; расчеты показателей энергетической эффективности; энергетический менеджмент, и другие вопросы необходимые для обследования объектов, работы с программами и принятия решений. Значительная доля времени выделена на приборный учет, инструментальный энергетический аудит, возобновляемые источники энергии и экологические вопросы при внедрении энергосберегающих технологий.

Самостоятельная работа предусматривает: выполнение конкретных индивидуальных заданий (упражнений), с предоставлением отчетов; энергетический аудит реальных объектов с применением необходимых средств измерения, расчетных программ и предоставлением отчета по энергетическому аудиту.

На заключительном этапе предусматривается экзамен (форму экзамена выбирают преподаватели) в устной или тестовой форме, но с обязательным использованием расчетных программ (теория – 30%, расчетные программы – 70%). За весь курс обучения устанавливается 100 баллов (100%). Из них: на теоретический курс обучения, выполнение и отчет индивидуальных заданий, заключительный отчет по энергетическому аудиту отводится 60% (60 баллов; распределение количества баллов, по выше указанным видам работы, производит преподаватель). На экзамены, соответственно отводится 40% (40 баллов). Для выхода на экзамен необходимо отчитаться по всем заданиям и набрать не менее 65% от 60 баллов (39 баллов). При успешно сданном экзамене (не менее 65% – от 40 баллов), экзаменационные баллы суммируются с набранными баллами теоретического и практического обучения. Обучение считается завершенным при наборе 65 и более баллов. При успешном окончании курса предусматривается выдача документа установленного образца.

При не успешном окончании курса (недостаточное количество баллов), необходимо: выполнить дополнительные практические задания по слабо усвоенным темам и сдать экзамен.

4. Распределение учебного времени

Дни недели	1	2	3	4	5	Всего аудиторных	самостоятельно	Всего, Часов
Сессия 1	6	6	6	6	6	30	50	80
Сессия 2	6	6	6	6	6	30	50	80
Сессия 3	6	6	6	6	6	30	60	90
Итого						90	160	250

5. Типовой учебный план подготовки энергетических аудиторов

№ п/п	Наименование дисциплин	Объем в часах
1	Нормативно-правовая основа	3
1.1	Политика и законодательная база энергосбережения РК	1
1.2	Нормативно-правовая база проведения энергоаудита	2
2.	Обязательный компонент	70
2.1	Промышленность и жилищно-коммунальное хозяйство	4
2.2	Теплоэнергетика и теплотехника	4
2.3	Электроэнергетика	4
2.4	Инструментальный энергоаудит	2
2.5	Автоматизация инженерных систем зданий и сооружений	4
2.6	Основы экономики и энергетического менеджмента	11

2.7	Энергетический аудит	25
2.8	Экологические аспекты энергосбережения	8
2,9	Энергосбережение в электрическом освещении	8
3.	Компонент по выбору	12
3.1	Основы теплотехники	2
3.2	Теоретические основы электротехники	2
3.3	Современные строительные материалы и конструкции	2
3.4	Средства измерения и контроля при проведении энергоаудита	2
3.5	Управление командой	2
3.6	Электрическое освещение	2
4.	Итоговый контроль	5
4.1	Консультации перед экзаменом	2
4.2	Экзамен	3
	Всего аудиторных занятий	90
5.	Самостоятельная работа	160
5.1	Первая сессия	50
5.2	Вторая сессия	50
5.3	Третья сессия	60
	Всего по курсу	250
	Подготовка осуществляется в течение трех сессий по 30 часов, что в сумме составит 90 часов, на самостоятельную работу отводится 160 часов (аудиторные занятия 36%, самостоятельная работа 64%). В зависимости от состава слушателей определяются дисциплины для изучения по выбору. Экзамены проводятся в любой форме (теория 30-40%, решение задач и расчетные программы 60-70%),.. За курс устанавливается 100 баллов(100%): 60 отводится на разные виды контроля и выполнение заданий, а 40 на экзамен. Обучение считается завершенным при наборе слушателем не менее 65%(65 баллов) от общего количества (39+26).	При необходимости возможно изменение количества часов отводимых на обязательный компонент в пределах 10-20%.

6. Типовая программа подготовки энергетических auditors

№ п/п	Наименование дисциплин и основное содержание	Объем в часах
1	Политика и законодательная база энергосбережения РК Европейская законодательная база и законодательная база РК. Закон РК «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности». Государственный энергетический реестр. Государственная поддержка в сфере энергосбережения и энергоэффективности.	1
2	Нормативно-правовая база проведения энергоаудита Основные определения и понятия. Виды и иерархия нормативно-правовых актов. Нормативно-правовая база в области нормирования энергетических ресурсов. Нормативно-правовая база проведения энергоаудита. Порядок проведения энергоаудита.	2
3	Промышленность и жилищно-коммунальное хозяйство Государственная инновационная политика. Причины, препятствующие внедрению инноваций в промышленности. Обновление основных фондов и внедрение новых технологий в производственные процессы. Особенности энергетического аудита промышленных предприятий. Экспертиза энерго-сберегающих проектов. Управление ЖКХ. Модель взаимодействия субъектов ЖКХ. Повышение энергетической эффективности коммунального хозяйства. Энергосбережение в зданиях. Инженерное оборудование зданий и сооружений (внешние сети, электрические сети, газовые сети, тепловые сети и сети ГВС и др.). Модернизация промышленности и ЖКХ.	4
4	Теплоэнергетика и теплотехника Источники и системы теплоснабжения (ГВС), их основные схемы. Законы термодинамики, способы теплообмена и теплопередачи. Системы отопления, вентиляции, кондиционирования, их характеристики и расчет. Санитарно-гигиенические (нормативные) требования к микроклимату. Методика расчета тепловых потерь ограждающих конструкций зданий и сооружений, определение необходимой мощности.	4
5	Электроэнергетика Потребление энергии. Источники тепловой и электрической энергии. Система передачи и распределения электрической энергии. Расчет нагрузки по объекту (нагреватели и плиты, двигатели, электрическое освещение, бытовая техника и пр., при необходимости пояснить принцип действия, устройство, расчеты). Графики нагрузок, показатели качества электрической энергии и возможности экономии.	4
6	Инструментальный энергетический аудит Инструментальное обследование. Организация проведения инструментального обследования. Технические средства и методы измерений. Измерительные приборы и комплекты оборудования. Приборы учета и контроля. Требования к измерительным приборам и обработка результатов измерений. Основные положения стандартизации и сертификации	2

7	<p>Автоматизация инженерных систем зданий и сооружений Автоматизация вентиляции, отопления, холодного и горячего водоснабжения, других систем зданий и сооружений. Автоматизированные тепловые узлы и пункты. Эксплуатация и обслуживание</p>	4
8	<p>Основы экономики и энергетического менеджмента Основы экономики. Экономические параметры: инвестиции и методы их оценки в энергосбережении; чистая годовая экономия; технический и экономический сроки службы; индекс инфляции и ставка дисконтирования (номинальная и реальная). Критерии эффективности мер по энергосбережению. Сбережение денег в банке (перемещение во времени вперед). Дисконтированная стоимость - сегодняшняя стоимость (перемещение во времени назад). Расчеты показателей рентабельности. Методы: период окупаемости (ПО); метод чистой приведенной стоимости (ЧПС); Метод времени выплат (ВВ). Расчет общей рентабельности пакета мероприятий с использованием методов: ПО; ЧПС; КЧПС; ВВ и внутренней нормы доходности (ВНД). Стоимость жизненного цикла. Денежные потоки. Таблица аннуитета Упражнения – расчет (программные средства). Основы энергетического менеджмента. Управление проектом и его реализация. Основы менеджмента. Функции и принципы менеджмента, управление персоналом, мотивация и управленческий контроль, групповая динамика и руководство, организационная культура, факторы конкурентноспособности</p>	11
9	<p>Энергетический аудит Введение. Необходимость энергосбережения и роль энергетических аудиторов. Существующая ситуация в странах ЕС и РК. Основные понятия и определения. Основные сведения об инструментариях (например, ENSI или подобные ей). Установка программ. Энергоаудит и сертификация зданий. Введение. Общие сведения и определения. Основные задачи и этапы энергоаудита. Сбор исходных данных. Инструментальное обследование. Анализ результатов. Примеры энергоэффективных мероприятий и проектов. Процесс развития проекта. Схема реализации процесса. Цели, задачи и возможности их решения. Энергоаудит, бизнес-планирование, реализация, эксплуатация и энергомониторинг. Идентификация проекта, основные мероприятия. Доступная и экономическая информация. Основные технические данные. Критерии оценки проекта. Сканирование. Цель. Подготовительные работы. Обследование, существующая ситуация, энергетические и экономические расчеты, подготовка отчета (упражнения-расчеты). Энергетический бюджет и показатели энергоэффективности. Оценка потенциала энергосбережения здания (упражнения с помощью программ). Обследование зданий, идентификация мер. Опросный лист для обследования (пример). К.П.Д. систем здания. Основные понятия. Расчет К.П.Д. Влияние К.П.Д. на энергопотребление объекта. Мероприятия позволяющие увеличить К.П.Д. систем (упражнения). Базовое энергопотребление. Основные положения, понятие базовой линии (упражнения). Энергетический аудит. Цель. Процесс энергоаудита. Энергетические и экономические расчеты. ЭЭ потенциал. Эксплуатация, обслуживание и энергетический мониторинг. Отчет по энергетическому аудиту. (Пример).</p>	25

	<p>Энергоэффективные мероприятия.</p> <p>Параметры программы. Оценка с помощью программного продукта. КПД теплоотдачи, его определение и методы расчета. (расчеты КПД). КПД распределительной системы и его определение. Методика оценки КПД распределительной системы, вводные данные. Упражнения-расчеты в программе. Инструкция по коэффициентам теплопередачи U. Свойства строительных материалов и области применения. Определение коэффициентов теплопередачи стен, потолка, окон. Расчет коэффициента U пола (для различных типов). Упражнения с использованием программных средств.</p> <p>Инфильтрация. Типы зданий и классы ветрозащиты. Нормативные величины. Порядок расчета. Расчет инфильтрации в прикладной программе. Потребность в энергии для ГВС. Нормативные величины. Расчет ГВС с помощью прикладной программы (пример). Стандарт EN 15316-3-1. Применение программы-рекомендации пользователю. Алгоритмы расчетов.</p> <p>Эксплуатация и обслуживание. Цели и задачи. Определения. Мероприятия по эксплуатации и обслуживанию (Э и О). Процесс эксплуатации и обслуживания. Руководство по Э и О. Организация Э и О. Варианты Э и О (расчет в).</p> <p>Энергомониторинг. Общие сведения. Недельное потребление энергии. Построение ЭТ-кривой. ЭТ-кривая до и после энергоэффективных мероприятий. Процедуры энергомониторинга (упражнения). Инструкция по энергомониторингу. Необходимое оборудование. Формы энергетических отчетов. Ведомость проверок отклонения. Результаты применения энергомониторинга. Примеры. Подготовка проекта по энергомониторингу (упражнения).</p>	
10	<p>Экологические аспекты энергосбережения</p> <p>Экологические проблемы. Экологические улучшения. Экологические выгоды. Экологические аспекты. Прямое и косвенное снижение выбросов. Экологически чистые энергосберегающие технологии. Применение вторичных энергоресурсов. Использование возобновляемых и нетрадиционных источников энергии, характеристика, принцип действия (ветровая, солнечная, тепловые насосы и др.). Первичная энергия и эмиссия CO₂. Показатель по первичным энергоносителям. Показатель эмиссии двуокиси углерода. Программа расчета в Excel. Упражнения-расчеты.</p>	8
11	<p>Энергосбережение в электрическом освещении</p> <p>Физические основы оптического излучения, спектры излучения, законы излучения. Источники и приемники оптического излучения. Экономичные источники излучения. Осветительные приборы. Естественное и искусственное освещение. Виды и системы освещения. Нормативные документы. Производственное освещение. Проектирование электрического освещения, методы расчета. Программное обеспечение. Электрическое освещение зданий, сооружений, дорог, уличное, фасадное и парковое освещение. Автоматическое управление уличным и подъездным освещением. Энергетический аудит электрического освещения: характеристика архитектурно-строительной части и технологического процесса; виды и системы освещения; уровень освещенности и соответствие нормам РК; критерий экономичности, оценка физического и морального износа светотехнического и вспомогательного оборудования; соответствие ПУЭ и ПТБ; степень автоматизации и состояние питающих сетей; качество напряжения; расчет нагрузки осветительной сети, удельная нагрузка. Анализ, определение энергетического потенциала, энергетически эффективные мероприятия.</p>	8
	Всего	73

	Компонент по выбору	12
3.1	Основы теплотехники	2
3.2	Теоретические основы электротехники	2
3.3	Современные строительные материалы и конструкции	2
3.4	Средства измерения и контроля при проведении энергетического аудита	2
3.5	Управление командой	2
3.6	Электрическое освещение	2
	Всего	85
4.	Итоговый контроль	5
	Всего аудиторных занятий	90
5.	Самостоятельная работа	160
	Всего по курсу	250
	Примечание: 1. В типовой учебной программе дисциплины по выбору приводятся без расшифровки содержания; 2. Расшифровку компонента по выбору осуществляет учебный центр; 3. В самостоятельную работу входит: проработка материала сессий; идентификация проекта; посещение объекта и сбор исходной информации; выяснение потенциала ЭЭ; подготовка предварительного отчета; сканирование и технико-экономическая оценка ЭЭ потенциала; подготовка отчета; дополнительное обследование объекта, уточнение экономических и энергетических расчетов; подготовка окончательного отчета с указанием мероприятий по реализации, эксплуатации и энергетическому мониторингу; В отчете привести фотоснимки объекта (по возможности тепловизионные снимки), итоговые таблицы из расчетных программ, ЭЭ мероприятия, бюджет энергии и другие необходимые материалы; подготовка энергетического паспорта.	Возможно изменение количества часов отводимых на обязательный компонент в пределах 10-15%. Часы компонента по выбору могут быть перенесены в обязательный компонент

6.1. Перечень дисциплин всех компонентов приводится в учебном плане.

6.2. Организация учебного процесса и определение структуры учебного периода осуществляется центрами подготовки.

6.3. Более детальная расшифровка содержания предметов приводится в рабочей программе подготовки энергетических auditors.

Продолжение приложения 4

Типовой учебный план и программа подготовки энергетических аудиторов

Министерство индустрии и новых технологий
Республики Казахстан

Типовой учебный план и ПРОГРАММА ПЕРЕПОДГОТОВКИ ЭНЕРГОАУДИТОРОВ (повышение квалификации – 125 часов)

Проект ПРООН/ГЭФ
«Продвижение энергетически эффективного освещения в Республике Казахстан»

Астана – 2014

Республики Казахстан

Утверждаю:

«__» _____ 2014 г.

Согласовано:

«__» _____ 2014 г.

Типовой учебный план и ПРОГРАММА ПЕРЕПОДГОТОВКИ ЭНЕРГОАУДИТОРОВ

(повышение квалификации – 125 ч.)

согласно проекту ПРООН/ГЭФ

«Продвижение энергетически эффективного освещения в Республике Казахстан»

Астана – 2014

1. Область применения

Данный план и программа устанавливают основные требования к содержанию переподготовки энергетических аудиторов зданий и сооружений с учетом современных требований, оценке уровня подготовленности слушателей к практической деятельности.

Программа разработана на основе международных документов, документов и нормативно-законодательной базы РК в сфере энергетического аудита и энергосбережения, с учетом утвержденных типового учебного плана и программы МИНТ РК.

Предлагается взамен существующего учебного плана и программы.

Рекомендуется для применения **Центрами энергосбережения и распространения знаний**, другими организациями, имеющими право на подготовку и переподготовку энергетических аудиторов.

Подготовку энергетических аудиторов осуществляют центры независимо от их формы собственности, ведомственной подчиненности и организационно-правовой формы, при наличии состава преподавателей имеющих высшее образование, соответствующее дисциплинам плана, центр должен иметь не менее двух-трех сотрудников с сертификатами энергетических аудиторов. Центры должны иметь необходимые программные продукты.

2. Нормативные ссылки

При подготовке программы использованы документы:

Закон Республики Казахстан от 27 июля 2007 года «Об образовании»;

ГОСО РК 5.04.019-2011 «Высшее образование. Основные положения», утвержденные приказом Министра образования и науки Республики Казахстан от 17 июня 2011 года № 261;

Правила организации учебного процесса по кредитной технологии обучения, утвержденные приказом Министра образования и науки Республики Казахстан от 20 апреля 2011 года № 152;

Типовые правила проведению текущего контроля успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации, обучающихся в высших учебных заведениях, утвержденных приказом Министра образования и науки Республики Казахстан, от 18 марта 2008 года № 125 (с изменениями и дополнениями от 16 марта 2011 года № 94)

3. Общие положения

Программа подготовки энергетических аудиторов зданий и сооружений рассчитана на 125 часов, в течение двух сессий. Указанные часы распределяются на теоретическое обучение, включающее в себя лекционные и практические занятия, а так же на самостоятельную работу. В теоретическом курсе рассматривается необходимость энергосбережения и роль аудиторов. Существующая ситуация в Республике Казахстан, законодательная база РК. Действующие и перспективные проекты данного направления в РК. Энергетический аудит зданий и промышленных предприятий, расчеты показателей энергетической эффективности, энергетический менеджмент, энергосбережение в теплоснабжении, водоснабжении, электроэнергетике, электрическом освещении и другие вопросы необходимые для обследования объектов, работы с программами и принятия решений. Самостоятельная работа предусматривает: выполнение конкретных индивидуальных заданий (упражнений), с предоставлением отчетов; энергетический аудит реальных объектов с применением необходимых средств измерения, расчетных программ и предоставлением отчета по энергетическому аудиту.

На заключительном этапе предусматривается экзамен (форму экзамена выбирают преподаватели) в устной или тестовой форме, но с обязательным использованием расчетных программ (теория-30%, расчетные программы – 70%). За весь курс обучения устанавливается 100 баллов (100%). Из них: на теоретический курс обучения, выполнение и отчет индивидуальных заданий,

заключительный отчет по энергетическому аудиту отводится 60% (60 баллов; распределение количества баллов, по выше указанным видам работы, производит преподаватель). На экзамены, соответственно отводится 40% (40 баллов). Для выхода на экзамен необходимо отчитаться по всем заданиям и набрать не менее 65% от 60 баллов (39 баллов). При успешно сданном экзамене (не менее 65% – от 40 баллов), экзаменационные баллы суммируются с набранными баллами теоретического и практического обучения. Обучение считается завершенным при наборе 65 и более баллов. При успешном окончании курса предусматривается выдача документа установленного образца.

При недостаточном количестве баллов, необходимо: выполнить дополнительные практические задания по слабо усвоенным темам и сдать экзамен.

4. Распределение учебного времени

Дни недели	1	2	3	4	5	Всего аудиторных, час.	Самостоятельная работа	Всего, Часов
Сессия 1	5	5	5	5	5	25		60
Сессия 2	5	5	5	5	5	25		65
Итого						50		125

5. Типовой учебный план переподготовки энергетических аудиторов

№ п/п	Наименование дисциплин	Объем в часах
1	Нормативно-правовая основа	3
1.1	Политика и законодательная база энергосбережения РК	1
1.2	Нормативно-правовая база проведения энергоаудита	2
2.	Обязательный компонент	40
2.1	Промышленность и жилищно-коммунальное хозяйство	2
2.2	Теплоэнергетика	2
2.3	Электроэнергетика	2
2.4	Автоматизация инженерных систем зданий и сооружений	3
2.5	Энергетический аудит	16
2.6	Основы экономики и энергетического менеджмента	5
2.7	Средства измерения и контроля при проведении энергетического аудита	3

2.8	Экологические аспекты энергосбережения	4
2.9	Энергосбережение в электрическом освещении	3
3.	Компонент по выбору	3
3.1	Электрическое освещение (зданий, сооружений, дорог, уличное, фасадное и парковое освещение).	1
3.2	Теоретические основы электротехники	0,5
3.3	Основы теплотехники	0,5
3.4	Современные строительные материалы и конструкции	0,5
3.5	Инструментальный энергоаудит	0,5
4.	Итоговый контроль	4
4.1	Консультации перед экзаменом	1
4.2	Экзамен	3
	Всего аудиторных занятий	50
5.	Самостоятельная работа	75
5.1	Первая сессия	60
5.2	Вторая сессия	65
	Всего по курсу	125
	Подготовка осуществляется в течение двух сессий по 25 часов, что в сумме составит 50 часов, на самостоятельную работу отводится 75 часов (аудиторные занятия 40%, самостоятельная работа 60%). В зависимости от состава слушателей определяются дисциплины по выбору. Экзамены проводятся в любой форме (теория 30-40%, решение задач и расчетные программы 60-70%, например программы ENSI или аналогичные ей). За курс устанавливается 100 баллов(100%): 60 отводится на разные виды контроля и задания, а 40 на экзамен. Обучение считается завершенным при наборе слушателем не менее 65%(65 баллов) от общего количества (39+26).	При необходимости возможно изменение количества часов отводимых на обязательный компонент в пределах 10-20%.

6. Типовая программа переподготовки энергетических аудиторов

№ п/п	Наименование дисциплин и основное содержание	Объем в часах
1	Политика и законодательная база энергосбережения РК Законодательная база РК. Закон РК «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности». Другие документы. Государственный энергетический реестр. Государственная поддержка в сфере энергосбережения и энергоэффективности.	1
2	Нормативно-правовая база проведения энергоаудита Определения и понятия. Виды и иерархия нормативно-правовых актов. Нормативно-правовая база в области нормирования энергетических ресурсов. Нормативно-правовая база проведения энергоаудита. Порядок проведения энергоаудита.	2
3	Промышленность и жилищно-коммунальное хозяйство Государственная инновационная политика. Обновление основных фондов и внедрение новых технологий в производственные процессы. Особенности энергетического аудита промышленных предприятий. Экспертиза энергосберегающих проектов. Повышение энергетической эффективности коммунального хозяйства. Энергосбережение в зданиях. Инженерное оборудование зданий и сооружений (внешние сети, электрические сети, газовые сети, тепловые сети и сети ГВС и др.). Модернизация промышленности и ЖКХ..	2
4	Теплоэнергетика Источники и системы теплоснабжения, ГВС, их основные схемы. Системы отопления, вентиляции, кондиционирования, их характеристики и расчет. Санитарно-гигиенические (нормативные) требования к микроклимату. Расчет тепловых потерь ограждающих конструкций зданий и сооружений, определение необходимой мощности (программы). Возможности экономии.	2
5	Электроэнергетика Источники электрической энергии. Система передачи и распределения электрической энергии. Расчет нагрузки по объекту (нагреватели и плиты, двигатели, электрическое освещение, бытовая техника и пр., при необходимости пояснить принцип действия, устройство, расчеты). Графики нагрузок, показатели качества электрической энергии и возможности экономии.	2
6	Средства измерения и контроля при проведении энергетического аудита Приборы учета и контроля электрической и тепловой энергии. Требования к приборам учета и контроля. Автоматизация учета и контроля. Организация проведения инструментального обследования. Технические средства и методы измерений. Измерительные приборы и комплекты оборудования. Обработка результатов измерений	3

7	<p>Автоматизация инженерных систем зданий и сооружений</p> <p>Автоматизация вентиляции, отопления, холодного и горячего водоснабжения, других систем зданий и сооружений. Автоматизированные тепловые узлы и пункты. Экономия электрической энергии за счет автоматизации и использования современных технологий.</p>	3
8	<p>Основы экономики и энергетического менеджмента</p> <p>Экономика: инвестиции и методы их оценки в энергосбережении; чистая годовая экономия; технический и экономический сроки службы; индекс инфляции и ставка дисконтирования. Критерии эффективности мер по энергосбережению. Сбережение денег в банке. Дисконтированная стоимость – сегодняшняя стоимость. Расчеты показателей рентабельности. Методы: период окупаемости (ПО); метод чистой приведенной стоимости (ЧПС); Метод времени выплат (ВВ). Расчет общей рентабельности пакета мероприятий с использованием методов: ПО; ЧПС; КЧПС; ВВ и внутренней нормы доходности (ВНД). Стоимость жизненного цикла. Денежные потоки. Таблица аннуитета Упражнения (программы).</p> <p>Основы менеджмента. Функции и принципы менеджмента, управление персоналом, мотивация и управленческий контроль, групповая динамика и руководство, организационная культура, факторы конкурентной способности. Управление проектом и его реализация.</p>	5
9	<p>Энергетический аудит</p> <p>Необходимость энергосбережения и роль энергоаудиторов. Существующая ситуация в странах ЕС и РК. Основные сведения об инструментариях (например ENSI или ей подобных). Установка программ. Энергоаудит и сертификация зданий. Основные задачи и этапы энергоаудита. Сбор исходных данных. Инструментальное обследование. Анализ результатов. Примеры энергоэффективных мероприятий и проектов. Процесс развития проекта. Схема реализации процесса. Цели, задачи и возможности их решения. Энергоаудит, бизнес-планирование, реализация, эксплуатация и энергомониторинг. Идентификация проекта, основные мероприятия. Основные технические данные. Критерии оценки проекта. Сканирование. Цель. Обследование, существующая ситуация, энергетические и экономические расчеты, подготовка отчета (упражнения- расчеты с помощью программного продукта).</p> <p>Энергетический бюджет и показатели энергоэффективности. Оценка потенциала энергосбережения здания (упражнения). Обследование зданий, идентификация мер. Опросный лист для обследования. Расчет К.П.Д. Мероприятия позволяющие увеличить К.П.Д. систем (расчет с помощью программ).</p> <p>Базовое энергопотребление. Понятие базовой линии (расчет). Энергетический аудит, цель и процесс. Энергетические и экономические расчеты. ЭЭ потенциал. Эксплуатация, обслуживание и энергетический мониторинг. Отчет по энергетическому аудиту (пример). Энергетически эффективные мероприятия.</p> <p>Оценка с помощью программного продукта. КПД теплоотдачи, его определение и методы расчета. КПД распределительной системы и его определение. Методика оценки КПД распределительной системы. Упражнения – расчеты с помощью программ. Определение коэффициентов теплопередачи стен, потолка, окон. Расчет коэффициента U пола. Упражнения с использованием программных средств.</p>	16

	<p>Инфильтрация. Типы зданий и классы ветрозащиты. Нормативные величины. Порядок расчета. Расчет инфильтрации с помощью прикладных программ. Потребность в энергии для ГВС. Нормативные величины. Расчет ГВС с помощью прикладных программ (пример). Стандарт EN 15316-3-1.</p> <p>Эксплуатация и обслуживание. Цели и задачи. Мероприятия по эксплуатации и обслуживанию (Э и О). Процесс эксплуатации и обслуживания. Руководство по Э и О. Организация Э и О (расчет в ENSI).</p> <p>Энергосбережение при автоматизации инженерных систем. Энергомониторинг. Построение ЭТ-кривой. ЭТ-кривая до и после энергоэффективных мероприятий. Процедуры энергомониторинга (упражнения). Инструкция по энергомониторингу. Формы энергетических отчетов. Ведомость проверок отклонения. Результаты применения энергомониторинга. Примеры. Подготовка проекта по энергомониторингу (упражнения).</p>	
10	<p>Экологические аспекты энергосбережения</p> <p>Экологические проблемы. Экологические улучшения. Экологические выгоды. Экологические аспекты. Прямое и косвенное снижение выбросов. Экологически чистые энергосберегающие технологии. Применение вторичных энергоресурсов. Использование возобновляемых и нетрадиционных источников энергии, характеристика, принцип действия (ветровая, солнечная, тепловые насосы и др.). Первичная энергия и эмиссия CO₂. Показатель по первичным энергоносителям. Показатель эмиссии двуокиси углерода. Программа расчета в Excel. Упражнения – расчеты.</p>	4
11	<p>Энергосбережение в электрическом освещении</p> <p>Физические основы оптического излучения, спектры излучения, законы излучения. Источники и приемники оптического излучения. Экономичные источники излучения. Осветительные приборы. Естественное и искусственное освещение. Виды и системы освещения. Нормативные документы. Производственное освещение. Проектирование электрического освещения, методы расчета. Программное обеспечение. Наружное электрическое освещение, расчет. Автоматическое управление уличным и подъездным освещением. Энергетический аудит электрического освещения. Анализ, определение энергетического потенциала, энергетически эффективные мероприятия.</p>	3
	Всего	43
	Компонент по выбору	3
3.1	Электрическое освещение (зданий, сооружений, дорог, уличное, фасадное и парковое освещение).	1
3.2	Теоретические основы электротехники	0.5
3.3	Современные строительные материалы и конструкции	0,5
3.4	Основы теплотехники	0,5
3.5	Инструментальный энергоаудит	0,5
4.	Итоговый контроль	4
	Всего аудиторных занятий	50
5.	Самостоятельная работа	75
	Всего по курсу	125

	<p>Примечание:</p> <p>1. В типовой учебной программе дисциплины по выбору приводятся без расшифровки содержания;</p> <p>2. Расшифровку компонента по выбору дает учебный центр;</p> <p>3. В самостоятельную работу входит: проработка материала сессий; идентификация проекта; посещение объекта и сбор исходной информации; выяснение потенциала ЭЭ; подготовка предварительного отчета; сканирование и технико-экономическая оценка ЭЭ потенциала; подготовка отчета; дополнительное обследование объекта, уточнение экономических и энергетических расчетов; подготовка окончательного отчета с указанием мероприятий по реализации, эксплуатации и энергетическому мониторингу; В отчете привести фотоснимки объекта (тепловизионные снимки), итоговые таблицы из расчетных программ, ЭЭ мероприятия, бюджет энергии и другие необходимые материалы; подготовка энергетического паспорта.</p>	<p>Возможно изменение количества часов отводимых на обязательный компонент в пределах 10-20%.</p>
--	---	---

6.1. Перечень дисциплин всех компонентов приводится в учебном плане.

6.2. Организация учебного процесса и определение структуры учебного периода осуществляется центрами подготовки.

Приложение 5

Характеристика некоторых источников света рекомендуемых к использованию

Таблица 5.1 – Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ)

Мощность, Вт	Ток, А	Световой поток, лм	Изготовитель	Условное обозначение
9 Цоколь G23	0,15	600	Philips OSRAM SYLVANIA GE	PL-S 9W DULUX S9W Lynx-S 9W F9BX
11 Цоколь G23	0,17	900	Philips OSRAM SYLVANIA GE	MASTER PL-S 11W DULUXS11W Lynx-S 11W F11BX
18 Цоколь 2G11	0,375	1200 1200 1200 1250 1200	Philips OSRAM SYLVANIA GE B.A.B.C.	PL-L18W DULUXL18W Lynx-L 18W F18BX КЛ18
36 Цоколь 2G11	0,435	2900	Philips OSRAM SYLVANIA GE B.A.B.C.	PL-L36W DULUX 36W Lynx-L 36W F36BX КЛ36
55 Цоколь 2G11	0,55	4800 4800 4800 4850	Philips OSRAM SYLVANIA GE	PL-L55W DULUX 55W Lynx-LE 55W F55B
13 Цоколь G24d-1	0,175	900	Philips OSRAM SYLVANIA GE	PL-C13W DULUX 13W Lynx-D 13W F13BXT4
26 Цоколь G24d-3	0,325	1800 1800 1800 1710	Philips OSRAM SYLVANIA GE	PL-C26W DULUX 26W Lynx-D 26W F26BXT4
32 цоколь GX24q-3	0,32	2400 2400 2400 2200	Philips OSRAM SYLVANIA GE	PL-T 32W DULUXTE32W Lynx-TE 32W F32TBX

Таблица 5.2 – Линейные люминесцентные лампы (T5) d=16 мм

Мощность, Вт	Ток, А	Световой поток, лм	Изготовитель	Условное обозначение
4	0,17	140	Philips	TL4W/33
Цоколь G5		120	OSRAM	L4W
		140	SYLVANIA	F4W
		150	GE	F4
6	0,16	260	Philips	TL6W/35
Цоколь G5		240	OSRAM	L6W
		280	SYLVANIA	F6W
		260	GE	F6
8	0,15	380	Philips	TL8W/35
Цоколь G5		330	OSRAM	L8W
		400	SYLVANIA	F8W
		380	GE	F8
14	0,17	1100	Philips	TL5 HE 14W
Цоколь G5		1200	OSRAM	FH14W
		1250	SYLVANIA	FHE14W
		1350	GE	F14W
28	0,17	2600	Philips	TL5 HE 28W
Цоколь G5		2600	OSRAM	FH28W
		2700	SYLVANIA	FHE28W
		2900	GE	F28W
35	0,175	3300	Philips	TL5 HE 35W
Цоколь G5		3300	OSRAM	FH35W
		3400	SYLVANIA	FHE35W
		3650	GE	F35W
49	0,245	4300	Philips	TL5 HO 49W
Цоколь G5		4900	OSRAM	FQ49W
54	0,455	4450	Philips	TL5 HO 54W
Цоколь G5		4450	OSRAM	FQ54W
80	0,53	6150	Philips	TL HO 80W
Цоколь G5		7000	OSRAM	FQ80W

Таблица 5.3 – Линейные люминесцентные лампы (T8) d=26 мм

Мощность, Вт	Ток, А	Световой поток, лм	Изготовитель	Условное обозначение
15	0,33	900	Philips	TL-D15W
Цоколь G13		950	OSRAM	L15W
		900	SYLVANIA	F15W
		850	GE	F15
18	0,36	1100	Philips	TL-D18W
Цоколь G13		1300	OSRAM	L18W
		1100	SYLVANIA	F18W
		1150	GE	F18
36	0,44	2975	Philips	TL-D36W
Цоколь G13		3250	OSRAM	L36W
		2600	SYLVANIA	F36W
		2600	GE	F36
38	0,43	3300	OSRAM	L 38W
Цоколь G13		3200	SYLVANIA	F 38W
58	0,67	4600	Philips	TL-D58W
Цоколь G13		5200	OSRAM	L58W
		4600	SYLVANIA	F58W
		4600	GE	F58
36	0,43	3250	Philips	Polar 36W Thermo
Цоколь G13 (Cold -30 °C)		3000	Aura	536W
		3100	Narva	IGLOOLT36W
58	0,67	5150	Philips	Polar 58W Thermo
Цоколь G13 (Cold -30 °C)		5000	Aura	58W
		4800	Narva	IGLOOLT58W
Цоколь G13			Philips	
			OSRAM	
Цоколь G13			Philips	
			OSRAM	

Таблица 5.4 – Ртутные лампы высокого давления (типа ДРЛ)

Мощность, Вт	Ток, А	Световой поток, лм	Изготовитель	Условное обозначение
80 Цоколь E27	0,8	4000 3400 3800 4000 3400	Philips OSRAM SYLVANIA GE B.A.B.C.	HPL-N 80W HQL 80 HSL-BW80W H80NDX ДРЛ80
125 Цоколь E27	1,15	6800 5700 6300 6500 6000	Philips OSRAM SYLVANIA GE B.A.B.C.	HPL-N 125W HQL 125 HSLBW125W H125NDX ДРЛ125
250 Цоколь E40	2,1	12700 13000 13000 13000 13200	Philips OSRAM SYLVANIA GE B.A.B.C.	HPL N 250 HG HQL 250 HSL-BW250W H250ST/25MIH ДРЛ 250
400 Цоколь E40	3,25	22000 22000 22000 13000 23700	Philips OSRAM SYLVANIA GE B.A.B.C.	HPL N 400 HG HQL 400 HSL-BW400W H250ST/40MIH ДРЛ 400
	Металло-	галогенные	лампы	
70 Цоколь RX7s	1	5700 5000 5400 5500	Philips OSRAM SYLVANIA GE	MHNProTD70W HQI-TS 70 HSI-TD 70W ARC70
150 Цоколь RX7s-24	1,8	12900 11000 11000 12000	Philips OSRAM SYLVANIA GE	MHNProTD150W HQI-TS 150 HSI-TD 150W ARC150
250 Цоколь E40	3	20000 20000	OSRAM SYLVANIA	HQI-T 250 HSI-T 250
400 Цоколь E40	3,4		Philips OSRAM SYLVANIA GE	HPI-T Plus 400 HQI-BT 400 HSI-THX 400W ARC400/T

Таблица 5.5 – Натриевые лампы высокого давления

Мощность, Вт	Ток, А	Световой поток, лм	Изготовитель	Условное обозначение
70 Цоколь RX7s	1	6800	OSRAM	NAV-TS 70 SUPER 4Y
150 Цоколь RX7s-24	1,8	15000	OSRAM	NAV-TS 150 SUPER 4Y
250 Цоколь E40	3	28000 27000 28000 27500 24000	Philips OSRAM SYLVANIA GE B.A.B.C.	SON-T Pro 250W NAV-T 250 SHP-T 250 W LU250/T/40 MIH ДHaT 250
400 Цоколь E40	4,4	48000 48000 48000 50000 47500	Philips OSRAM SYLVANIA GE B.A.B.C.	SON-T Pro 400W NAV-T 400 SHP-T 400 W LU400/T/40 MIH ДHaT 400
70 Цоколь E27	0,98	5600 5600 6000 6000 5600	Philips OSRAM SYLVANIA GE	SON Pro 70W-E NAV-E 70/E SHP-S 70W LU 70/90/D ДHaMт 70
150 Цоколь E40	1,8	14500 14000 15500 15000	Philips OSRAM SYLVANIA GE	SON Pro 150W-E NAV-E 150 SHP-S 150W LU 150
250 Цоколь E40	3	27000 25000 26000 27500	Philips OSRAM SYLVANIA GE	SON Pro 250W NAV-E 250 SHP 250W LU250/T/40 MIH
400 Цоколь E40	4,45	48000 47000 47000 50000	Philips OSRAM SYLVANIA GE	SON Pro 400W NAV-E 400 SHP 400W LU400/T/40 MIH
400 Цоколь E40	4,6	46000	Рефлекс	ДHa3 400-1

Таблица 5.6 – Светодиодные источники излучения (цоколь E27 как ЛН)

Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Изготовитель	Условное обозначение
3,6	360	100	Светорезерв	ЛМС – 29-1
3,5	300	85,7	ASD	LED-P45
5	400	80	Светорезерв	ЛМС – 90
5	450-480	90-95	Geniled	E27 G45 5W
5	400	80	ASD	LED- A60
8	700	87,5	Светорезерв	ЛМС – 58
7	650	92,8	Geniled	E27 A60 7W
8	650	81,3	ASD	LED-R63
13,2	1050	79,6	Светорезерв	ЛМС – 88
12	1050	87,5	Geniled	E27 A60 12W
15	1300	86,6	Geniled	E27 A60 15W
11	900	82	ASD	LED-A60 econom
15	1200	80	ASD	LED-A60
20	2200	110	Geniled	СДЛ –КС-20
21	1450	69	Светорезерв	ЛМС - 128
30	3400	113	Geniled	СДЛ-КС-30
30	2700	90	Geniled	СДЛ-НС-30
40	4300	107,5	Geniled	СДЛ-КС-40
60	6400	106,6	Geniled	СДЛ-КС-60
80	8800	110	Geniled	СДЛ-КС-80
100	9500	95	Geniled	СДЛ-КС-100
	Линейные	излучатели	(LED как ЛЛ)	
9 (l = 600)	950	105,5	Светорезерв	УНИПРО 60-2
14 (l = 910)	1350	96,4	Светорезерв	УНИПРО 90-2
18 (l = 1200)	1750	97,2	Светорезерв	УНИПРО 120-2
26 (l = 1510)	2200	84,6	Светорезерв	УНИПРО 150-2

Таблица 5.7 – Лампы накаливания и галогенные лампы накаливания

Мощность, Вт	Ток, А	Световой поток, лм	Изготовитель	Условное обозначение
40 Цоколь E27	0,18	420 415 300	OSRAM SYLVANIA GE	CLAS AFR40 GLS Clear 40W230V 40A1
60 Цоколь E27	0,27	710 710 540	OSRAM SYLVANIA GE	CLAS AFR60 GLS Clear 60W230V 60A1
75 Цоколь E27	0,34	940 925 730	OSRAM SYLVANIA GE	CLAS AFR75 GLS Clear 75W230V 75A1
100 Цоколь E27	0,45	1360 1340 1080	OSRAM SYLVANIA GE	CLASAFR100 GLS Clear 100W230V 100A1
50 ГЛН Цоколь E27	0,22	950 900 900 850	Philips OSRAM SYLVANIA GE	PAR 20S HALOPAR 20FL HI SPOT80 50W 50PAR25/230/FL
75 ГЛН Цоколь E27	0,32	1575 1450 1450 1350	Philips OSRAM SYLVANIA GE	PAR 30S HALOPAR 30FL HI SPOT 9575 75PAR30/230/FL
100 ГЛН Цоколь E27	0,45	2200 2100 2000	Philips SYLVANIA GE	PAR 30S HI SPOT 10005 100PAR30/230/FL
120 ГЛН Цоколь E27	0,53	2600 2550 2300	OSRAM SYLVANIA GE	CONCPAR38FL120 PAR38 120PAR38/FL
100 ГЛН Цоколь GY6.35	0,45	2200 2100 2000	Philips SYLVANIA GE	CAPCULEline Pro Axial 12V/100W M28/Q100

Буквенные обозначения типа источников света:

М – дуговая ртутная люминесцентная, типа ДРЛ;
 Е – лампа накаливания;
 Н, НR, НG – металлогалогенная, типа ДРИ;
 Р – рефлекторная галогенная л.н.;
 S – натриевая, типа ДNaT;
 LED – светодиоды;
 F – компактная люминесцентная лампа (КЛЛ);
 SMD – тип светодиодов

Бабко Анатолий Николаевич
Инютин Сергей Петрович

Подписано к печати _____. Формат _____.
Тираж ____ экз. Объем _ уч.изд. л. Заказ № _____ .