ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р МЭК 62471— 2013

ЛАМПЫ И ЛАМПОВЫЕ СИСТЕМЫ

Светобиологическая безопасность

IEC 62471:2006
Photobiological safety of lamps and lamp systems
(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2014

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Государственным унитарным предприятием Республики Мордовия «Научно-исследовательский институт источников света имени А.Н. Лодыгина» (ГУП Республики Мордовия «НИИИС им. А.Н. Лодыгина») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 332 «Светотехнические изделия»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 06 сентября 2013 г. № 971-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 62471:2006 «Светобиологическая безопасность ламп и ламповых систем» (IEC 62471:2006 «Photobiological safety of lamps and lamp systems»).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации и межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном формационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (gost.ru)

© Стандартинформ, 2014

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 1
4 Пределы облучения 6
5 Измерения ламп и ламповых систем 13
6 Классификация ламп 20
Приложение А (справочное) Суммирование биологических эффектов 23
Приложение В (справочное) Метод измерений 28
Приложение С (справочное) Анализ неопределенности 32
Приложение D (справочное) Общий справочный материал 33
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации 34

Введение

Лампы были разработаны и изготавливались в больших количествах и стали общераспространенными в то время, когда промышленные стандарты безопасности не были нормой. Оценка и контроль опасности оптического излучения ламп и ламповых систем намного сложнее, чем подобные задачи для монохроматической лазерной системы.

Для их выполнения необходимы сложные радиометрические измерения. Эти требования не распространены на точечные источники света с простой оптикой, т.е. на распределенные источники, которые могут содержать или не содержать различные рассеиватели и проекционную оптику. Распределение излучения по длинам волн может меняться от вспомогательных оптических элементов, рассеивателей, линз и т.п., а также от изменений рабочих условий.

Для оценки оптических источников с широкополосным спектром излучения, таких как дуговая лампа, лампа накаливания, люминесцентная лампа, ряда ламп или ламповых систем, во-первых, необходимо определить спектральное распределение оптического излучения источника, воздействующего на человека. Это приемлемое для осветительной системы спектральное распределение может быть отличным от фактического излучения одиночной лампы, из-за преобразования светового луча различными оптическими элементами, например, проекционной оптикой. Во вторых, размер или проецируемый размер источника должен быть изображен на области сетчатки, для которой опасен спектральный диапазон. В-третьих, может потребоваться определение изменения облученности и эффективной энергетической яркости в зависимости от расстояния. Для выполнения этих измерений необходимы сложные приборы. Поэтому решено включить в настоящий стандарт общепринятую технику измерений ламп и ламповых систем. Методы измерений вместе с указанной классификацией группы риска обеспечивают общие требования для изготовителей и потребителей ламп, чтобы определить конкретную светобиологическую опасность любой лампы или ламповой системы.

Целью настоящего стандарта является обеспечение стандартизованного метода оценки потенциальной опасности излучения от различных ламп (электрических источников света) и ламповых систем (осветительных приборов).

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЛАМПЫ И ЛАМПОВЫЕ СИСТЕМЫ
Светобиологическая безопасность

Lamps and lamp systems. Photobiological safety

Дата введения – 2015—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт содержит руководство по оценке светобиологической безопасности ламп и ламповых систем, включая светильники, и устанавливает пределы облучения, общепринятую методику измерений и схему классификации для оценки и контроля светобиологической опасности от всех электрических некогерентных широкополосных источников оптического излучения, включая светодиоды, кроме лазеров с длиной волны от 200 до 3000 нм.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

МКО 17.4–1987 Международный светотехнический словарь (МСС) – Объединенная публикация МЭК/МКО (CIE 17.4–1987, International lighting vocabulary (ILV) – Joint publication IEC/CIE)

МКО 53–1982 Методы определения характеристик радиометров и фотометров (CIE 53–1982, Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers)

МКО 63–1984 Спектрорадиометрические измерения источников света (CIE 63–1984, The spectroradiometric measurement of light sources)

МКО 105–1993 Спектрорадиометрия импульсных источников оптического излучения (CIE 105–1993, Spectroradiometry of pulsed optical radiation sources)

ИСО Руководство по выражению неопределенности в измерениях, ИСО, Женева, 1995 г. (Guide to the expression of uncertainty in measurement, ISO, Geneva, 1995).

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **актиничная доза** (см. МСС 845-06-23) (actinic dose): Величина, полученная путем спектральной оценки дозы, в соответствии со значением спектра актиничного действия на соответствующей длине волны.

Единица: Дж·м$^{-2}$.

Примечание - В этом определении подразумевается, что спектр действия берут для данного рассматриваемого актиничного эффекта, причем его максимальное значение равно 1. Когда приводят количественную характеристику, тогда важно указать, какое значение величины, дозы или актиничной дозы имеется в виду, т.к. единица измерений в том и в другом случае одинаковая.

3.2 **угловой размер α**, рад (angular subtense): Визуальный угол от видимого источника в глазу наблюдателя или в точке измерения.

В настоящем стандарте эти углы обозначают полным значением, а не половинным.

Примечание – Угловой размер α будет изменяться в основном при введении линз или зеркал в оптику проекторов. т.е. угловой размер видимого источника будет отличен от углового размера физического источника

3.3 **апертура, апертурная диафрагма** (aperture, aperture stop): Раскрытие, устанавливающее площадь, на которой измеряют среднее оптическое излучение.

Для измерений спектральной энергетической освещенности это раскрытие является отверстием в сфере, расположенной перед входной щелью радиометра/спектрорадиометра.

3.4 **опасность синего света** (blue light hazard (BLH)): Возможная опасность для сетчатки, вызванная фотохимией вследствие облучения лучистой энергией в диапазоне длин волн от 400 до 500 нм.

Издание официальное

Этот механизм повреждения доминирует над механизмом теплового повреждения при времени более 10 с.

3.5 **лампа непрерывной волны** (continuous wave (CW) lamp): Лампа, работающая с непрерывной отдачей в течение более 0,25 с, т.е. не пульсирующая лампа.

Примечание – В настоящем стандарте лампы общего назначения (ЛОН) определяют как лампы непрерывной волны.

3.6 **эритема** (см. МСС 845-06-15) (erythema): Покраснение кожи, эффект, который вызван солнечной радиацией или искусственным оптическим излучением.

Примечание – Степень выраженной эритемы используют в качестве руководства по дозировке применяемой при УФ терапии.

3.7 **расстояние облучения**, м (exposure distance): Расстояние от лампы или ламповой системы до ближайшей точки тела человека.

Для ламп, излучающих во всех направлениях, расстояние измеряют от центра тела накала или дуги источника, а для рефлекторных ламп расстояние измеряют от внешней кромки линзы или плоскости, определяющей конец отражателя, при отсутствии линзы.

3.8 **предел облучения** (exposure limit (EL)): Уровень облучения глаза или кожи, который предположительно не вызовет отрицательных биологических эффектов.

3.9 **движение глаз** (eye movements): Перемещение, при котором глаз, сфокусированный на объект, слегка передвигается с частотой несколько Герц.

Это быстрое перемещение глаза вызывает расширение изображения точечного источника на сетчатке до углового размера около 0,011 радиана. За время более 100 с нарушается способность сфокусировать взгляд, вызывая, таким образом, дальнейшее распространение мощности излучения по сетчатке из-за движения глаз, например, при чтении.

3.10 **поле обзора**, ср (field of view): Телесный угол как «видимый» приемником излучения (приемочный угол), такой как радиометр/спектрорадиометр, из которого приемник излучения получает излучение.

Примечания

1 Поле обзора нельзя путать с угловым размером видимого источника α.

2 Для описания кольцевого симметричного пространственного угла поля обзора иногда используют плоский угол.

3.11 **лампы общего назначения**; **ЛОН** (general lighting service (GLS) lamps): Лампы, предназначенные для освещения пространств, которые обычно используют или наблюдают люди.

Примерами являются лампы для освещения офисов, школ, домов, заводов, дорог или автомобилей. К ним не относят лампы для кинопроекции, репрографии, «загара», промышленных процессов, медицинского обслуживания и прожекторов.

3.12 **опасное расстояние** (hazard distance): См. «опасное расстояние для кожи» и «опасное расстояние для глаз».

3.13 **освещенность** в точке поверхности E_v, лк (см. МСС 845-01-38) (illuminance (at a point of a surface)): Отношение светового потока $d\Phi_v$, падающего на элемент поверхности, содержащий рассматриваемую точку, к площади dA этого элемента:

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dA}. \quad (3.1)$$

3.14 **инфракрасное излучение** (см. МСС 845-01-04) (infrared radiation (IR)): Оптическое излучение, у которого длины волн более длин волн видимого излучения.

Примечания

1 Для инфракрасного излучения диапазон между 780 и 10^6 нм обычно разделяют на поддиапазоны: ИК-А (от 780 до 1400 нм), ИК-В (от 1400 до 3000 нм) и ИК-С (от 3000 до 10^6 нм).

2 Инфракрасное излучение часто оценивают как отношение спектрального общего излучения, падающего на поверхность, на единицу этой поверхности (облученность). Примерами применения инфракрасного излучения являются промышленный нагрев, сушка, спекание и фоторепродукция. При некоторых применениях, таких как инфракрасные наблюдательные системы, используют приемники излучения, чувствительные к ограниченному диапазону длин волн, при этом важными являются спектральные характеристики источника и приемника излучения.

3.15 **предусматриваемое применение** (intended use): Применение изделия, процесса или обслуживания в соответствии со спецификациями, инструкциями или информацией, предоставленными поставщиком.

3.16 **энергетическая освещенность**, Вт·м ^{2} в точке поверхности (см. МСС 845-01-37) (irradiance (at a point of the surface)): Отношение потока излучения dΦ, падающего на элемент поверхности, содержащий рассматриваемую точку, к площади d этого элемента:

$$E = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}A}. \qquad (3.2)$$

3.17 **лампа** (см. МСС 845-07-03) (lamp): Источник, создающий оптическое излучение, обычно видимое.

Примечания

1 Некоторые типы светильников, которые состоят из лампы с абажуром, отражателем, шаром, кожухом или другими аксессуарами, называют «лампами».

2 В настоящем стандарте термин означает электрический источник света, кроме лазера, который создает излучение в видимой области электромагнитного спектра. Устройства, генерирующие свет и имеющие неразъемные компоненты для контроля оптических параметров, такие как линзы или отражатели, также считают лампами, например, светодиоды с линзами, лампы с линзами, источник с параболическим или эллиптическим отражателем.

3.18 **ламповая система** (lamp system): Любое изготовленное изделие или собранные компоненты, предназначенные для встраивания ламп.

3.19 **большой источник** (large source): Размер изображения источника на сетчатке такой большой, что тепловой поток в радиальном направлении от центра изображения на окружающей биологической ткани, мало отличается от теплового потока в осевом направлении.

3.20 **лазер** (laser): Источник с когерентным оптическим излучением, работающий на основе вынужденного излучения.

3.21 **свет** (light): См. «видимое излучение».

3.22 **светодиод; СД** (см. МСС 845-04-40) (light emitting diode (LED)): Полупроводниковый прибор с p-n переходом, испускающий некогерентное видимое излучение при пропускании через него прямого тока.

3.23 **люмен** (см. МСС 845-01-51) (lumen): Световой поток, излучаемый в единичном телесном угле (стерадиан) равномерным источником света с силой света 1 Кандела.

Эквивалентное определение: световой поток пучка монохроматического излучения, у которого частота равна 540·10^{12} Гц и поток излучения равен 1/683 Вт.

Примечание – Единица СИ светового потока.

3.24 **светильник** (см. МСС 845-10-01) (luminaire): Световой прибор, перераспределяющий, фильтрующий и преобразующий свет, излучаемый одной или несколькими лампами, и содержащий все необходимые детали, для крепления и защиты ламп, а также электрические цепи и приспособления для подключения к питающей сети.

Примечание – Слово «светильник» и «ламповая система» часто считают синонимами. Для настоящего стандарта «светильник» считают прибором, перераспределяющим свет в общем освещении, а «ламповая система» предполагает применение ламп не для общего освещения.

3.25 **яркость** в данном направлении, в данной точке реальной или воображаемой поверхности L_v, кд·м$^{-2}$ (см. МСС 845-01-35) (luminance (in a given direction, at a given point of a real or imaginary surface)): Величина, определяемая по формуле

$$L_v = \frac{\mathrm{d}\Phi_v}{\mathrm{d}A\cos\theta\mathrm{d}\Omega}, \qquad (3.3)$$

где $\mathrm{d}\Phi_v$ – световой поток, переносимый в элементарном пучке лучей, проходящем через данную точку и распространяющемся в телесном угле $\mathrm{d}\Omega$, содержащем данное направление;

$\mathrm{d}A$ – площадь сечения данного пучка, проходящего через данную точку;

θ – угол между нормалью к данному сечению и направлением пучка лучей.

3.26 **люкс** (см. МСС 845-01-52) (lux): Освещенность, создаваемая световым потоком в 1 люмен, равномерно распределенным по поверхности, площадь которой равна 1 м^2.

Примечание – Единица освещенности СИ.

3.27 **опасное расстояние для глаз**, м (ocular hazard distance): Расстояние от источника, в пределах которого энергетическая яркость или энергетическая освещенность при данной продолжительности облучения превышает приемлемый предел облучения.

3.28 **оптическое излучение** (см. МСС 845-01-02) (optical radiation): Электромагнитное излучение с длинами волн, лежащими в пределах между областью перехода к рентгеновским лучам (длина волны около 1 нм) и областью перехода к радиоволнам (длина волны около 10^6 нм).

Примечание – Ультрафиолетовое излучение с длиной волны менее 180 нм (вакуумный УФ) сильно поглощается кислородом на воздухе. Для настоящего стандарта ширина длины волны оптического излучения принимается более 200 нм, кроме того, глаз передает на сетчатку оптическое излучение от 380 до 1400 нм, таким образом, этот диапазон длины волны требует специального рассмотрения для определения светобиологической безопасности сетчатки.

3.29 **светокератоконъюктивит** (photokeratoconjunctivitis): Возникающая реакция роговицы и конъюктивы на облучение ультрафиолетовым (УФ) излучением.

Длина волны менее 320 нм наиболее эффективна для этого. Пиковое действие спектра около 270 нм.

Примечание - Различные действия спектра опубликованы для светокератита и светоконъюктивита (МКО 106/2 и МКО 106/3-1993), однако, более последние исследования подтвердили единое действие спектра для обоих воздействий на глаз (МКО 106/1-1993).

3.30 **импульсная лампа** (pulsed lamp): Лампа, передающая энергию одним или несколькими импульсами, продолжительностью менее 0,25 с. Лампа с непрерывной последовательностью импульсов или модулированной лучистой энергией, где пиковое значение лучистой энергии составляет не менее десятикратной средней лучистой мощности излучения.

Примечания

1 Продолжительность импульса лампы – интервал времени между точками половинной мощности и на начальном и конечном краях импульса.

2 В настоящем стандарте лампы общего назначения определены как лампы непрерывной волны (см. 3.5). Примерами импульсных ламп являются лампы-фотовспышки, импульсные лампы в светокопировальных машинах, светодиоды с модулированными импульсами и импульсный свет.

3.31 **энергетическая яркость** в данном направлении, в данной точке реальной или воображаемой поверхности ***L***, Вт·м $^{-2}$ ср $^{-1}$ (см. МСС 845-01-34) (radiance (in a given direction at a given point of a real or imaginary surface): Величина, определяемая по формуле

$$L = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}A\cos\theta\mathrm{d}\Omega}, \tag{3.4}$$

где $\mathrm{d}\Phi$ – поток излучения, переносимый в элементарном пучке лучей, проходящем через данную точку и распространяющемся в телесном угле $\mathrm{d}\Omega$, содержащем данное направление;

$\mathrm{d}A$ – площадь сечения данного пучка, проходящего через данную точку;

θ – угол между нормалью к данному сечению и направлением пучка лучей.

Примечание – Эта формула также справедлива для энергетической яркости с интегрированным временем, если в уравнение для L лучистую мощность $\mathrm{d}\Phi$ заменить на энергию излучения $\mathrm{d}Q$.

3.32 **энергия излучения**, Дж (см. МСС 845-01-27) (radiant energy): Интеграл по времени от мощности излучения Φ за данный отрезок времени Δt:

$$Q = \int_0^t \Phi \mathrm{d}t. \tag{3.5}$$

3.33 **энергетическая экспозиция** в точке поверхности, для данной длительности, Дж·м $^{-2}$ (см. МСС 845-01-42) (radiant exposure (at a point of a surface, for a given duration): Отношение энергии излучения $\mathrm{d}Q$, падающей на элемент поверхности, содержащей данную точку, в течение данной длительности, к площади $\mathrm{d}A$ этого элемента:

$$H = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}A}. \tag{3.6a}$$

Эквивалентное определение: интеграл по времени от E, облученности в данной точке за данную длительность Δt:

$$H = \int_{\Delta t} E \mathrm{d}t. \tag{3.6b}$$

3.34 **мощность излучения *Ф***, Вт (см. МСС 845-01-24) (radiant power (Φ)): Мощность, излучаемая, передаваемая или принимаемая в виде излучения.

Мощность излучения часто называют лучистым потоком.

3.35 **сетчатка** (см. МСС 845-02-01) (retina): Светочувствительная оболочка на глазном дне, состоящая из приемника света: колбочек и палочек, – и нервных клеток, от которых возбуждение передается зрительному нерву.

3.36 **ожог сетчатки** (retinal burn): Светохимическое или тепловое повреждение сетчатки.

3.37 **опасная зона для сетчатки** (retinal hazard region): Спектральный диапазон от 380 до 1400 нм (видимый плюс ИК-А), в котором глаз пропускает оптическое излучение на сетчатку.

3.38 **опасное расстояние для кожи**, м (skin hazard distance): Расстояние, при котором в течение 8 ч облучения энергетическая освещенность превышает приемлемый предел облучения.

3.39 **спектральное распределение,** $[X]$·нм$^{-1}$ (см. МСС 845-01-17), (spectral distribution): Отношение энергетической, световой или фотонной величины $dX(\lambda)$ взятой в малом спектральном интервале $d\lambda$, содержащем данную длину волны λ, к этому интервалу:

$$X_\lambda = \frac{dX(\lambda)}{d\lambda}. \qquad (3.7)$$

Примечание - Термину спектральное распределение отдают предпочтение, когда имеют дело с функцией $X_\lambda(\lambda)$ в широком диапазоне длин волн, а не на какой-либо определенной длине волны.

3.40 **спектральная энергетическая освещенность**, Вт·м$^{-2}$·нм$^{-1}$ (spectral irradiance): Отношение лучистой мощности $d\Phi(\lambda)$ в интервале длин волн $d\lambda$, падающей на элемент поверхности, к площади dA этого элемента и интервалу длин волн $d\lambda$:

$$E_\lambda = \frac{d\Phi(\lambda)}{dA\,d\lambda}. \qquad (3.8)$$

3.41 **спектральная энергетическая яркость** для интервала длин волн d в заданном направлении в данной точке L_λ, Вт·м$^{-2}$·нм$^{-1}$·ср$^{-1}$ (spectral radiance (for a wavelength interval dλ, in a given direction at a given point)): Отношение лучистой мощности $d\Phi_\lambda$, проходящей через эту точку в телесном угле $d\Omega$ в данном направлении, к произведению интервала длин волн, площади сечения пучка на плоскость, перпендикулярную этому направлению ($\cos\theta\, dA$) и содержащую данную точку, и телесный угол $d\Omega$:

$$L_\lambda = \frac{d\Phi(\lambda)}{dA\cos\theta\, d\Omega\, d\lambda}. \qquad (3.9)$$

3.42 **стерадиан** (см. МСС 845-01-20) (steradian): Телесный угол с вершиной в центре сферы, вырезающий на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Примечание – Единица СИ телесного угла.

3.43 **ультрафиолетовое излучение** (**УФ**) (см. МСС 845-01-05) (ultraviolet radiation (UV)): Оптическое излучение, у которого длины волн меньше длин волн видимого излучения.

Примечания

1 Для ультрафиолетового (УФ) излучения диапазон между 100 и 400 нм обычно разделяют на поддиапазоны: УФ-А – от 315 до 400 нм, УФ-В – от 280 до 315 нм и УФ-С – от 100 до 280 нм.

2 Эти обозначения для УФ не имеют точных пределов, в частности для светобиологических эффектов.

3 В некоторых областях светобиологии берут диапазоны длин волн от 200 до 290 нм, от 290 до 320 нм и от 320 до 400 нм, которые неправильно называют УФ-А, УФ-В и УФ-С соответственно. Ультрафиолетовое излучение с длиной волны менее 180 нм считают вакуумным ультрафиолетовым излучением. Излучение от 380 до 400 нм считают видимым излучением, хотя формально по определению оно относится к ультрафиолетовому диапазону.

3.44 **видимое излучение** (см. МСС 845-01-03) (visible radiation): Оптическое излучение, которое может непосредственно вызвать зрительное ощущение.

Примечание – Не существует точных пределов спектрального диапазона видимого излучения т.к. они зависят от мощности достигающего сетчатки излучения и чувствительности наблюдателя. За нижний предел обычно принимают диапазон от 360 до 400 нм, а за верхний предел – диапазон от 760 до 830 нм.

3.45 **угол зрения** (visual angle): Угол, под которым объект или деталь в точке наблюдения считают видимыми.

Единицей СИ для угла является радиан, хотя он может быть измерен в миллирадианах, градусах или минутах дуги.

4 Пределы облучения

4.1 Общие положения

Люди вблизи ламп и ламповых систем не должны облучаться до уровней, превышающих предельные значения, указанные в нижеследующих разделах. Значения пределов облучения берут из разных руководств ICNIRP[1)], которые в свою очередь основаны на информации по экспериментальным исследованиям (обзор публикаций см. приложение А).

Пределы облучения представляют собой такие условия, при которых люди могут быть многократно облучены без вреда своему здоровью. Однако, они не распространяются на людей, склонных к светочувствительности или людей, облучаемых в средах, которые делают людей чувствительными к вредному воздействию оптического излучения на здоровье. Такие люди более чувствительны к воздействию к вредным воздействиям оптического излучения на здоровье, чем люди, которые ненормально чувствительны и попутно облучающиеся в светочувствительных средах. Восприимчивости светочувствительных людей сильно отличаются друг от друга, поэтому невозможно установить пределы облучения для этой категории.

Пределы облучения в настоящем стандарте применимы к источникам непрерывного действия, у которых продолжительность облучения от 0,01 с до 8 ч и должны быть использованы как руководства для контроля облучения. Значения не являются точными границами между опасными и безопасными уровнями.

Пределы облучения широкополосным видимым и ИК-А излучением для глаза требует знания спектральной энергетической яркости источника L_λ и полной энергетической освещенности E, измеренных в облученном глазу человека. Такие подробные спектральные данные источника света в основном необходимы только, когда яркость источника более 10^4 кд·м$^{-2}$. При яркости менее этого значения пределы облучения, вероятно, не будут превышены. Пределы облучения приведены в 4.3.

4.2 Удельные коэффициенты, введенные для определения и применения пределов облучения сетчатки

4.2.1 Диаметр зрачка

Лучистый поток, входящий в глаз и поглощаемый сетчаткой (от 300 до 1400 нм), обратно пропорционален площади зрачка. Известно, что диаметр зрачка изменяется от 7 мм при очень низкой яркости (менее 0,01 кд·м$^{-2}$) до около 2 мм при значениях яркости порядка 10^4 кд·м$^{-2}$. Слабым визуальным стимулом считают стимул с максимальной яркостью (усредненной для кольцевого поля обзора в 0,011 радиан) менее 10 кд·м$^{-2}$. Для данной яркости диаметры конкретных зрачков значительно отличны. Поэтому для установления пределов облучения оценивают только два диаметра зрачка:

- при достаточно высокой яркости источника (более 10 кд·м$^{-2}$), и продолжительности облучения более 0,25 с, например, при опасном синем свете или тепловой опасности, для установления предела облучения сетчатки используют диаметр зрачка 3 мм (площадь 7 мм^2);
- при малой яркости источника, например, инфракрасное излучение присутствует практически без видимых стимулов, для установления предела облучения используют диаметр зрачка 7 мм (площадь 38,5 мм^2). Диаметр 7 мм также принимают при оценке светобиологической опасности от импульсных источников и/или для облучения продолжительностью менее 0,25 с;
- в тех случаях, когда источник с ближним ИК излучением используют с высокими уровнями освещения, может быть принят диаметр зрачка 3 мм, а пределы облучения могут быть приведены к более высоким значениям на квадрат отношения диаметра зрачка. При этом пределы облучения будут увеличены на коэффициент: $(7/3)^2 = 5,5$.

4.2.2 Угловой размер источника и измерения поля обзора

При излучении в диапазоне длин волн от 380 до 1400 нм площадь облучаемой сетчатки является важным элементом для определения пределов облучения опасным синим светом и тепловой опасности для сетчатки. Так как роговица и хрусталик глаза фокусируют на сетчатке видимый источник, то лучшим методом для описания облученной поверхности является отношение этой площади к угловому размеру видимого источника α. Из-за физических возможностей самое малое изображение, которое может быть получено на сетчатке неподвижного глаза, ограничено минимальным значением $\alpha_{мин}$ даже для точечного источника. В настоящем стандарте $\alpha_{мин}$ равно 0,0017 радиан. При измерениях излучений от видимых точечных источников, импульсных или очень высокой лучистой яркости непрерывной волны, которые относятся к тепловому пределу облучения сетчатки при 0,25 с (время мерцающего отражения) следует использовать угловой размер 0,0017 радиан при измерениях поля обзора.

[1)] ICNIRP – Международная комиссия по защите от неионизирующего излучения

При продолжительности более 0,25 с быстрое движение глаза начинает смазывать изображение источника на больший угол, обозначаемый в настоящем стандарте $\alpha_{эфф}$. При облучении в течение 10 с смазанное изображение точечного источника охватывает площадь сетчатки, эквивалентную углу около 0,011 радиан. Таким образом, эффективный угловой размер $\alpha_{эфф}$, используемый при измерениях энергетической яркости по сравнению с пределами облучения для тепловой опасности сетчатки или опасности синего света при облучении в течение 10 с, должен составлять 0,011 радиан. Для постоянства зависимости $\alpha_{эфф}$ между 0,25 и 10 с увеличивают $\alpha_{мин}$ до 0,011 радиан как квадратный корень из времени: $\alpha_{эфф}$ пропорционально $\alpha_{мин}t^{0,5}$, т.е. $\alpha_{эфф} = \alpha_{мин}\sqrt{t(0,25)}$. При небольшом количестве данных использовать эту временную зависимость необходимо с осторожностью. Отношение временной зависимости обычно не требуется, так как энергетическую яркость источника обычно оценивают при 0,25 или 10 с, что может быть определено рассмотрением критерия риска в соответствии с разделом 6.

Кроме того, при облучении опасным синим светом в течение 100 с облучаемая площадь сетчатки от небольшого источника будет расширяться на большую площадь из-за определенного движения глаза, за исключением тех случаев, когда глаз неподвижен, например, при офтальмологических операциях. Для измерений энергетической яркости источника, которая должна быть сравнима с пределом облучения опасным синим светом, эффективный угловой размер $\alpha_{эфф}$ устанавливают равным 0,011 радиан на время менее 100 с. Для времени более 10000 с $\alpha_{эфф}$ устанавливают равным 0,1 радиан. Для удобства принимают, что $\alpha_{эфф}$ растет приблизительно как квадратный корень от времени для предела времени от 100 до 10000 с, т.е. $\alpha_{эфф} \approx 0{,}011 \cdot \sqrt{t(0,100)}$ (формула не точная). В настоящем стандарте для всех опасностей на сетчатке максимальное значение углового размера $\alpha_{макс}$ составляет 0,1 радиан. Таким образом, при более 10000 с $\alpha_{эфф} = \alpha_{мин}$.

Для видимых источников с максимальным угловым размером $\alpha_{макс}$ предел облучения для сетчатки не зависит от размера источника.

Угловой размер удлиненного источника должен быть определен как среднеарифметическое значение максимальных и минимальных угловых размеров источника. Например, для трубчатого источника длиной 20 мм, диаметром 3 мм, рассматриваемого с расстояния r = 200 мм в направлении, перпендикулярном оси лампы, α следует определять как среднее значение Z:

$Z = (20 + 3)/2 = 11{,}5$ мм.

Таким образом, $\alpha = Z/r = 11{,}5/200 = 0{,}058$ радиан.

Прежде чем определить среднеарифметическое значение, любой угловой размер более $\alpha_{макс}$ должен быть ограничен значением $\alpha_{макс}$, а менее $\alpha_{мин}$ – значением $\alpha_{мин}$. Таким образом, в вышеприведенном примере если бы линейное расстояние было более 20 мм, то для оценки эффективного размера источника следует использовать только значение 20 мм.

4.3 Пределы опасного облучения

4.3.1 Предел опасного актиничного УФ облучения для кожи и глаз

Пределы облучения УФ излучением, падающим на незащищенную кожу или глаза, определяют в пределах любого 8 часового периода. Непрерывное облучение более 8 ч в сутки не рассматривают. Предел облучения для эффективной энергетической экспозиции составляет 30 Дж·м$^{-2}$.

Для защиты глаз и кожи от повреждения облучением УФ излучением, создаваемого широкополосным источником, эффективная суммарная спектральная энергетическая освещенность E_s, Дж·м$^{-2}$, источника света не должна превышать уровней, определенных по формуле

$$E_s t = \sum_{200}^{400} \sum_{t} E_\lambda(\lambda, t) S_{UV}(\lambda) \Delta t \Delta\lambda \le 30, \qquad (4.1)$$

где: t – время облучения, с;

$E_\lambda(\lambda, t)$ – спектральная энергетическая освещенность в Вт·м$^{-2}$·нм$^{-1}$;

$S_{UV}(\lambda)$ – актиничная взвешенная функция УФ опасности;

$\Delta\lambda$ – ширина полосы, нм.

Актиничная взвешенная функция $S_{UV}(\lambda)$ показана графически на рисунке 4.1. Так как функция меняется в пределах нескольких порядков, ее характеристика $S_{UV}(\lambda)$ показана логарифмически. Кроме того, спектральные значения $S_{UV}(\lambda)$ приведены в таблице 4.1.

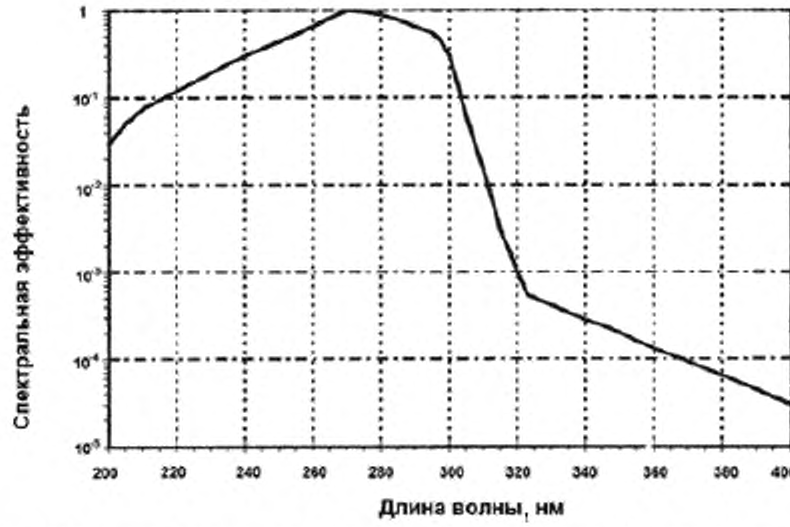

Рисунок 4.1 – Спектральная взвешенная функция $S_{UV}(\lambda)$ для актиничной УФ опасности для кожи и глаз

Допустимое время для облучения УФ излучением, падающим на незащищенные глаза или кожу, определяют по формуле

$$t_{max} = \frac{30}{E_s}, \quad [с] \qquad (4.2)$$

где t_{max} – допустимое время облучения, с;
E_s – эффективная УФ энергетическая освещенность, Вт·м$^{-2}$.

Таблица 4.1 – Спектральная взвешенная функция для оценки УФ опасности для кожи и глаз

Длина волны[1] λ, нм	Функция УФ опасности $S_{UV}(\lambda)$		Длина волны[1] λ, нм	Функция УФ опасности $S_{UV}(\lambda)$
200	0,030		313	0,006
205	0,051		315	0,003
210	0,075		316	0,0024
215	0,095		317	0,0020
220	0,120		318	0,0016
225	0,150		319	0,0012
230	0,190		320	0,0010
235	0,240		322	0,00067
240	0,300		323	0,00054
245	0,360		325	0,00050
250	0,430		328	0,00044
254	0,500		330	0,00041
255	0,520		333	0,00037

Окончание таблицы 4.1

Длина волны[1] λ, нм	Функция УФ опасности $S_{UV}(\lambda)$	Длина волны[1] λ, нм	Функция УФ опасности $S_{UV}(\lambda)$
260	0,650	335	0,00034
265	0,810	340	0,00028
270	1,000	345	0,00024
275	0,960	350	0,00020
280*	0,880	355	0,00016
285	0,770	360	0,00013
290	0,640	365	0,00011
295	0,540	370	0,000093
297*	0,460	375	0,000077
300	0,300	380	0,000064
303	0,120	385	0,000053
305	0,060	390	0,000044
308	0,026	395	0,000036
310	0,015	400	0,000030

[1] Выбраны представительные длины волн. Другие значения должны быть получены путем логарифмической интерполяции промежуточных длин волн.

* Линии излучения ртутного разряда.

4.3.2 Предел облучения для глаз от ближнего опасного УФ

Для спектральной области от 315 до 400 нм (УФ-А) полное облучение для глаз должно быть не более 10000 Дж·м$^{-2}$ при времени облучения менее 1000 с. При облучении более 1000 с (около 16 мин) энергетическая освещенность УФ-А для незащищенного глаза E_{UVA} не более 10 Вт·м$^{-2}$.

Это может быть выражено формулами:

$$E_{UVA}t = \sum_{315}^{400}\sum_{t} E_{\lambda}(\lambda, t)\Delta t\Delta\lambda \le 10000\ ,\ \text{Дж·м}^{-2},\ \text{при}\ (t < 1000\ \text{с}); \qquad (4.3a)$$

$$E_{UVA} \le 10\ ,\qquad \text{Вт·м}^{-2},\ \text{при}\ (t \ge 1000\ \text{с}). \qquad (4.3b)$$

где t – время облучения, с;

$E_{\lambda}(\lambda, t)$ – спектральная энергетическая освещенность, Вт·м$^{-2}$·нм$^{-1}$;

$\Delta\lambda$ – ширина полосы, нм.

Допустимое время, с, облучения УФ излучением, падающим на незащищенный глаз менее 1000 с, определяют по формуле

$$t_{max} \le \frac{10000}{E_{UVA}}\ . \qquad (4.4)$$

Примечание – Для облучения глаза УФ-А излучением ICNIRP в 1989 г. изменил этот предел облучения, увеличив продолжительность облучения до 10000 Дж·м$^{-2}$ с 1000 до 10000 с (2,6 ч) и до 1 Вт/м^{2} для 10000 с ≤ t ≤ 30000 с (8 ч).

4.3.3 Предел облучения сетчатки опасным синим светом

Для защиты сетчатки от светохимического повреждения постоянным облучением синим светом суммарная спектральная энергетическая яркость источника света, оцененная по функции опасности от синего света $B(\lambda)$, т.е. взвешенная энергетическая яркость синего света L_B должна быть не более уровней, определенных по формулам:

$$L_B t = \sum_{300}^{700}\sum_{t} L_{\lambda}(\lambda, t)B(\lambda)\Delta t\Delta\lambda \le 10^{6}\ ,\quad \text{Дж·м}^{-2}\text{·ср}^{-1},\ \text{для}\ t \le 10^{4}\ \text{с}; \qquad 4.5a)$$

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_{\lambda} B(\lambda)\Delta\lambda \le 100\ ,\qquad \text{Вт·м}^{-2}\text{·ср}^{-1},\ \text{для}\ t > 10^{4}\ \text{с}, \qquad (4.5b)$$

где t – время облучения, с;

$L_{\lambda}(\lambda, t)$ – спектральная энергетическая яркость в Вт·м$^{-2}$·ср$^{-1}$·нм$^{-1}$;

$B(\lambda)$ – взвешенная функция опасности от синего света;

$\Delta\lambda$ – ширина полосы, нм;

Спектральная взвешенная функция синего света $B(\lambda)$ и тепловая взвешенная функция для сетчатки $R(\lambda)$ показаны графически на рисунке 4.2. Как и на рисунке 4.1, функция охватывает множество числовых значений, поэтому значения ординат показаны логарифмически. Кроме того, спектральные значения $B(\lambda)$ и $R(\lambda)$ приведены в таблице 4.2.

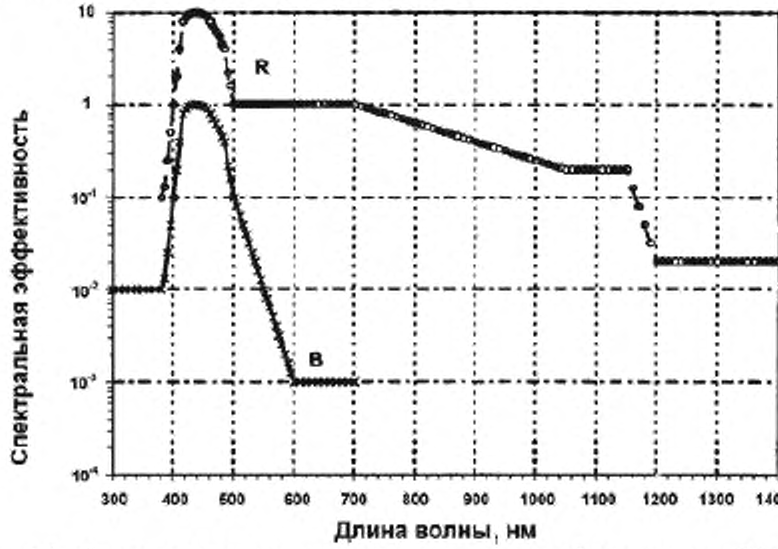

Рисунок 4.2 – Спектральные взвешенные функции опасностей для сетчатки $B(\lambda)$ и $R(\lambda)$

Таблица 4.2 – Спектральные взвешенные функции оценки опасности для сетчатки от оптических источников с широкополосным спектром излучения

Длина волны нм	Функция опасности от синего света $B(\lambda)$	Функция опасности ожога $R(\lambda)$
300	0,01	–
305	0,01	–
310	0,01	–
315	0,01	–
320	0,01	–
325	0,01	–
330	0,01	–
335	0,01	–
340	0,01	–
345	0,01	–
350	0,01	–
355	0,01	–
360	0,01	–
365	0,01	–
370	0,01	–
375	0,01	–
380	0,01	0,1
385	0,013	0,13
390	0,025	0,25
395	0,05	0,5
400	0,10	1,0

Окончание таблицы 4.2

Длина волны нм	Функция опасности от синего света $B(\lambda)$	Функция ожога $R(\lambda)$
405	0,20	2,0
410	0,40	4,0
415	0,80	8,0
420	0,90	9,0
425	0,95	9,5
430	0,98	9,8
435	1,0	10,0
440	1,0	10,0
445	0,97	9,7
450	0,94	9,4
455	0,90	9,0
460	0,80	8,0
465	0,70	7,0
470	0,62	6,2
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,40	4,0
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500-600	$10^{[(450-\lambda)/50]}$	1,0
600-700	0,001	1,0
700-1050		$10^{[(700-\lambda)/500]}$
1050-1150		0,2
1150-1200		$0{,}2\cdot10^{0{,}02(1150-\lambda)}$
1200-1400		0,02

Для взвешенной энергетической яркости источника L_B более 100 Вт·м$^{-2}$·ср$^{-1}$, максимальное допустимое время облучения t_{max}, с, для t не более 10^4 с определяют по формуле

$$t_{max} = \frac{10^6}{L_B}, \qquad (4.6)$$

где L_B – опасность от взвешенной энергетической яркости синего света.

Примечания

1 L_λ должна быть усреднена по правильному кольцевому конусному полю обзора $\alpha_{эфф}$ в соответствии с 4.2.2.

2 В случае множества не соприкасающихся световых элементов источника этот критерий применяют к одному из них, и также применяют ко всему источнику, когда используют усредненную энергетическую яркость всего источника.

4.3.4 Предел облучения сетчатки опасным синим светом – небольшой источник

Для источников света с углом менее 0,011 радиан пределы по 4.3.3 приводят к упрощению уравнения, основанного скорее на спектральной энергетической освещенности, чем на спектральной эффективной яркости. Применяя формулу (5.4) можно показать, что зависимость между L и E для угла 0,011 радиан – это коэффициент около 10^4. Таким образом, спектральная энергетическая освещенность глаза E_λ, взвешенная по функции опасного синего света $B(\lambda)$ (см. таблицу 4.2), не должна превышать уровней, определенных по формулам:

$$E_B t = \sum_{300}^{700}\sum_{t} E_\lambda(\lambda, t)B(\lambda)\Delta t\Delta\lambda \le 100, \quad \text{Дж·м}^{-2} \text{ для } t \le 100 \text{ с}; \qquad (4.7a)$$

$$E_B = \sum_{300}^{700} E_\lambda B(\lambda)\Delta\lambda \le 1, \quad \text{Вт·м}^{-2} \text{ для } t > 100 \text{ с}, \qquad (4.7b)$$

где t – время облучения, с;

$E_\lambda(\lambda, t)$ – спектральная энергетическая освещенность, Вт·м$^{-2}$·нм$^{-1}$;

$B(\lambda)$ – взвешенная функция опасности синего света;

$\Delta\lambda$ – ширина полосы, нм.

Для источника, у которого взвешенная энергетическая освещенность от синего света E_B более 0,01 Вт·м$^{-2}$, максимальную допустимую продолжительность облучения, с, для t не более100 с определяют по формуле:

$$t_{max} = \frac{100}{E_B}, \quad (4.8)$$

где E_B – взвешенная энергетическая освещенность опасного синего света.

Примечания

1 Время облучения, при котором E_B становится независимым от времени, является скорее 100 с, чем 10000 с, данное для L_B в уравнении (4.6). Причина этого заключается в том, что время облучения более 100 с предполагает, что диаметр облученной площади сетчатки увеличивается как квадратный корень из времени. Следовательно, эффективная энергетическая освещенность сетчатки уменьшается, а облучение сетчатки становится независимым от времени при облучении длительностью от 100 до 10000 с из-за движений глаза. Эта зависимость графически представлена на рисунке 5.4 линией E_B.

2 Для офтальмологических приборов или неподвижного глаза при хирургической операции, когда движение глаза минимально, время облучения доходит до 10000 с. Под этим понимают, что в таких случаях взвешенная энергетическая освещенность от синего света должна быть не более 10^{-2} Вт·м$^{-2}$, т.е. в 100 раз менее приведенной в формуле (4.7b).

4.3.5 Предел опасного теплового облучения для сетчатки

Для защиты сетчатки от теплового повреждения суммарную спектральную энергетическую яркость источника L_λ, Вт·м$^{-2}$·ср$^{-1}$·нм$^{-1}$, определяют по взвешенной функции опасности от ожога $R(\lambda)$, (см. рисунок 4.2 и таблицу 4.2) т.е. взвешенная энергетическая яркость опасности ожога не должна превышать уровней, определенных по формуле:

$$L_R = \sum_{380}^{1400} L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \le \frac{50000}{\alpha \cdot t^{0,25}}, \text{ Вт·м}^{-2}\text{·ср}^{-1} \text{ при 10 мкс} \le t \le 10 \text{ с}, \quad (4.9)$$

где L_λ – спектральная энергетическая яркость;

$R(\lambda)$ – взвешенная функция опасности ожога;

$\Delta\lambda$ – ширина полосы, нм;

α – угловой размер источника, радианы;

t – время наблюдения (или продолжительность импульса в случае импульсных ламп), с.

Примечания

1 L_λ должна быть усредненной по правильному кольцевому конусному полю обзора с углом от 0,0017 радиан до 0,1 радиан.

2 В случае множества несоприкасающихся световых элементов источника этот критерий применим к одному из них, а также ко всему источнику при использовании усредненной энергетической яркости всего источника.

4.3.6 Предел опасного теплового облучения для сетчатки – слабый визуальный стимул

Для ИК тепловой лампы или любого источника с ближним ИК излучением, у которого слабый визуальный стимул недостаточен для возникновения неприятного ощущения ближним ИК (от 780 нм до 1400 нм) излучением, энергетическая яркость L_{IR}, Вт·м$^{-2}$·ср$^{-1}$, при рассматривании более 10 с должна быть ограничена до:

$$L_{IR} = \sum_{780}^{1400} L_\lambda R(\lambda)\Delta\lambda \le \frac{6000}{\alpha}, \quad (4.10)$$

где L_λ – спектральная энергетическая яркость, Вт·м$^{-2}$ ср$^{-1}$·нм$^{-1}$;

$R(\lambda)$ – взвешенная функция опасности ожога;

$\Delta\lambda$ – ширина полосы, нм,

α – угловой размер, радианы.

Слабым визуальным стимулом здесь считают такой стимул, при котором максимальная яркость, усредненная на кольцевом поле обзора с углом 0,011 радиан, менее 10 кд·м$^{-2}$.

Примечания

1 L_λ должна быть усреднена по правильному кольцевому конусному полю обзора с углом от 0,011 радиан до 0,1 радиан.

2 Пределы в формулах (4.11a) и (4.11b) установлены для диаметра зрачка 7 мм, так как предполагают, что яркость источника слабая. В тех случаях, когда окружающий свет интенсивный, можно использовать диаметр зрачка 3 мм, предполагая, что предел облучения может быть приведен к более высоким значениям через

квадрат отношения диаметров зрачка (коэффициент 5,5), т.е. предел облучения может быть увеличен до 33000/α Вт·м$^{-2}$·ср$^{-1}$ (см. 4.2.1).

4.3.7 Пределы облучения опасным для глаз инфракрасным излучением

Во избежание теплового повреждения роговицы и возможных замедленных воздействий на хрусталики глаз (катарактогенезис) облучение глаза ИК излучением E_{IR}, Вт·м$^{-2}$, в диапазоне длин волн от 780 до 3000 нм не более 1000 с не должно превышать:

$$E_{IR} = \sum_{780}^{3000} E_\lambda \Delta\lambda \le 18000 t^{-0.75}, \quad (4.11a)$$

При времени более 1000 с предел становится равным:

$$E_{IR} = \sum_{780}^{3000} E_\lambda \Delta\lambda \le 100, \quad (4.11b)$$

где E_λ – спектральная энергетическая освещенность, Вт·м$^{-2}$·нм$^{-1}$;

$\Delta\lambda$ – ширина полосы, нм.

Примечания

1 В холодной окружающей среде предел для длительного облучения может быть увеличен до 400 Вт·м$^{-2}$ при 0 °С и 300 Вт·м$^{-2}$ при 10 °С в тех случаях, когда ИК источники используют для лучистого нагрева.

2 ИК-С уже учтено в этих пределах для всех ламп накаливания.

4.3.8 Предел опасности теплового облучения для кожи

Видимое и ИК облучение (от 380 до 3000 нм) кожи должно быть ограничено значением:

$$E_H t = \sum_{380}^{3000} \sum_{t} E_\lambda(\lambda, t) \Delta t \Delta\lambda \le 20000 t^{0.25}, \text{ Дж·м}^{-2} \text{ при } t \le 10 \text{ с}, \quad (4.12)$$

где t – время облучения, с;

$E_\lambda(\lambda, t)$ – спектральная энергетическая освещенность, Вт·м$^{-2}$·нм$^{-1}$;

$\Delta\lambda$ – ширина полосы, нм.

Примечание – Этот предел облучения установлен для повреждения кожи из-за повышения температуры ткани и применим только к небольшой площади облучения. Пределы облучения более 10 с не рассматривают. При температурах ниже температур, повреждающих кожу, возникают некоторые болезненные ощущения, и для комфорта отдельных людей облучение обычно должно быть ограничено. Большие площади облучения и теплового воздействия не оценивают, так как для разных людей изменение тепла вызванного воздействием окружающей среды, физической активностью и другими различными факторами, которые не могут быть изложены в стандарте на требования безопасности изделия, но должны быть оценены по критериям теплового воздействия окружающей среды.

5 Измерения ламп и ламповых систем

Измерение оптического излучения для расчета значений свето-биологического излучения является важным для метрологов. Спектр светобиологического действия, такой как $S_{UV}(\lambda)$, имеет быстро меняющиеся значения при небольшом изменении длины волны. Кроме того, передача излучения от ламп со стеклянными колбами быстро повышает световой поток с увеличением длины волны в той области, где $S_{UV}(\lambda)$ быстро уменьшается. Поэтому подготовка точности взвешенных результатов должна быть тщательно рассмотрена.

В то время как измерения облученности – это рутинная работа, то измерения энергетической яркости – не рутинная работа, и часто трудно их провести, особенно, для светобиологических опасностей, так как они связаны с полем обзора, которое изменяется в зависимости от оценки опасности.

По этим причинам необходимо проводить дальнейшее обсуждение условий и методик, необходимых для проведения измерений излучений, которые будут использованы для определения группы риска различных ламп и ламповых систем.

Следует отметить, что указанные в настоящем стандарте методики измерений рассчитаны на оценку биофизического явления. Как правило, эти методики могут включать усреднение по отверстиям или полям обзора, которые будут считать не подходящими для общих радиометрических измерений. Однако, если значения измерений не усреднять, то их следует сравнивать с соответствующими пределами облучения, в этом случае опасности должны быть переоценены.

Для лучшего обеспечения сравнения различных пределов облучения, приведенных в 4.3, включая влияние поля обзора, в конце этого раздела указан суммарный табличный и графический обзор данных. Таким образом, на рисунке 5.4 и в таблице 5.4 приведены максимальные значения для

каждой энергетической освещенности, основанной на количествах опасного облучения в функции времени облучения, в то время как на рисунке 5.5 и в таблице 5.5 приведены максимальная энергетическая яркость, основанная на количествах опасных облучениях (сетчатки), также в функции времени облучения.

Примечание – Верхний предел длины волны для оценки любой опасности, составляющий 3000 нм, приведен в разделе 1. Измерения спектральной энергетической освещенности с использованием монохроматора трудно провести в ИК области, особенно между 2500 и 3000 нм из-за отсутствия восприятия сигнала и трудности получения калиброванных источников, однако, взвешенную функцию не определяют при длинах волн более 1400 нм. Таким образом, измерения ширины полосы для длин волн от 1400 до 3000 нм пригодны для оценки условий ИК опасности для глаз и кожи в этой области.

5.1 Условия измерений

Условия измерений должны быть указаны как часть оценки по пределам облучения и определению классификации риска.

5.1.1 Отжиг ламп

Для поддержания стабильного светового потока в процессе измерений и обеспечения воспроизводимых результатов лампы следует отжигать в течение соответствующего периода времени. В течение начального времени работы выходные характеристики лампы будут изменяться, т.е. ее компоненты приходят в равновесие. Если измерения проводить на не отожженных лампах, то может быть большая разница во время одного измерения и между измерениями. Световой поток лампы уменьшается в процессе срока службы, поэтому время отжига должно быть коротким для умеренных оценок опасностей.

Лампы следует отжигать в соответствии с соответствующим стандартом на лампы.

Примечание – Время отжига для разрядных ламп, например, люминесцентных и высокоинтенсивных разрядных (ВИР), составляет обычно 100 ч, для вольфрамовых ламп – около одного процента их расчетного срока службы, однако, эти критерии отжига могут отличаться для специальных применений, например, лампы для соляриев.

5.1.2 Условия окружающей среды для испытаний

Для точных измерений источников света необходимы контролируемые условия окружающей среды. Работа источников света и измерительного оборудования зависит от факторов окружающей среды. Кроме того, образование озона в измерительной зоне может ухудшить точность и привести к нарушению безопасности. Конкретные условия испытаний приведены в соответствующем национальном стандарте на лампу или, при отсутствии таких стандартов, в соответствии с рекомендациями изготовителя.

Температура окружающей среды будет значительно влиять на световой поток некоторых источников света, например, люминесцентных ламп. Температуру окружающей среды, при которой проводят измерения, следует поддерживать в соответствии со стандартом на лампу.

Параметры некоторых источников света также сильно зависят от сквозняков. Движение воздуха по поверхности испытуемых ламп, кроме потоков, вызванных естественной конвекцией самой лампы, должно быть уменьшено насколько возможно для сохранения безопасности (образование озона). Если в испытуемой системе предусмотрена циркуляция воздуха, то измерения следует проводить с циркуляцией воздуха.

5.1.3 Постороннее излучение

Должны быть проведены тщательные проверки для исключения влияния посторонних источников излучения и отражений на результаты измерений. Часто для уменьшения постороннего излучения используют экраны. Черные поверхности могут отражать УФ и ИК излучения. Кроме того, излучения от горячих экранов должны быть учтены при ИК измерениях из-за большого входного углового размера экранов.

5.1.4 Работа лампы

Испытуемая лампа должна работать в соответствии со стандартом на лампу. При отсутствии такого стандарта следует руководствоваться рекомендациями изготовителя.

5.1.5 Работа ламповой системы

Для работы испытуемой лампы следует использовать источник питания в соответствии со стандартом на лампу. При отсутствии стандарта на устройство управления лампой следует руководствоваться рекомендациями изготовителя.

5.2 Методика измерений

5.2.1 Измерения энергетической освещенности

Данная методика применима для измерений широкополосной и спектральной энергетической освещенности. Идеальным прибором для измерений энергетической освещенности является приемник излучения диаметром D, с плоской круглой поверхностью, достаточной для достижения желательного соотношения сигнал/шум такой, чтобы:

- принимала излучение в пределах правильного кольцевого конуса, осевая линия которого перпендикулярна плоскости площади приемника излучения;
- имела угловую пространственную характеристику, выраженную как косинус угла от нормали к плоскости приемника излучения;
- имела спектральную характеристику, постоянную в пределах заданного диапазона длин волн от λ_1 до λ_2.

Согласно настоящему стандарту минимальный диаметр входного отверстия диафрагмы в шаре должен быть 7 мм, а максимальный – 50 мм. Плоская круглая диафрагма диаметром 25 мм обычно используется только для шаров небольшого диаметра и может быть рекомендована в качестве входной диафрагмы для монохроматора. Диафрагма диаметром 25 мм рекомендуется для источников с пространственным равномерным оптическим излучением. Для источников, не создающих пространственное равномерное излучение, таких как, зеркальные лампы с узким лучом, пиковая энергетическая освещенность (интенсивность) может быть значительно выше, чем полученная при измерениях с использованием полностью открытого отверстия 25 мм. В таких случаях отверстие приемника излучения должно быть ограничено 7 мм.

Рисунок 5.1 схематически показывает основные концепции измерений энергетической освещенности или спектральной энергетической освещенности, включая при необходимости наличие диафрагмы для ограничения поля обзора, уголом *A*, являющимся половинной угла излучения, располагающимся на некотором расстоянии от приемника излучения, которое является большим по сравнению с диаметром приемника излучения.

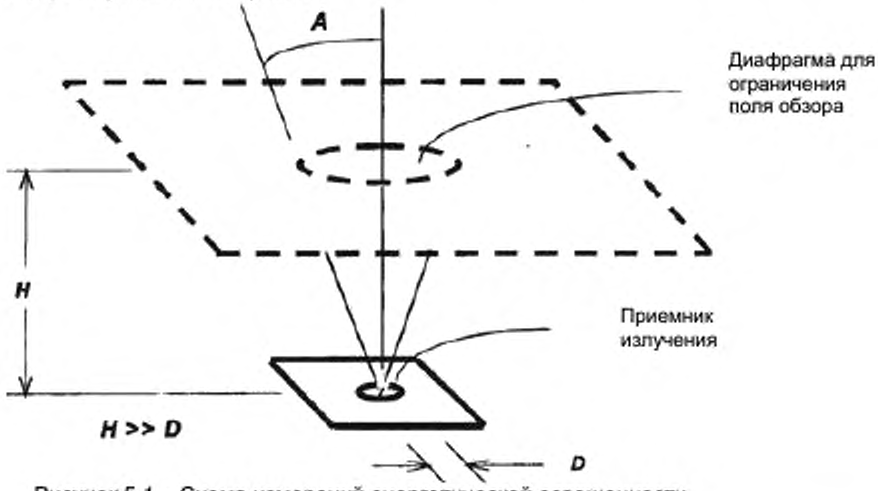

Рисунок 5.1 – Схема измерений энергетической освещенности

Измерения следует проводить в таком положении, при котором луч дает максимальные показания. Прибор должен быть откалиброван по абсолютному лучистому потоку на единицу получаемой площади.

Примечания

1 С практической точки зрения изменение входного отверстия диафрагмы требует дополнительной работы, связанной с перекалибровкой радиометра или спектрорадиометра. Для исключения перекалибровки одним из методов при известной зависимости энергетической освещенности от расстояния является установка диафрагмы диаметром 25 мм на расстоянии 200 мм от источника излучения, что соответствует углу излучения с диафрагмой диаметром 7 мм, т.е. расстояние составит 3,5 кратного стандартного расстояния оценки.

2 Измеренная энергетическая освещенность не должна быть усреднена на диафрагме меньшей по диаметру, чем указано, так как это может привести к переоценке опасности. Минимальный размер усредненной диафрагмы связан с физиологическими и поведенческими факторами, которые приводят к усреднению падающего излучения на некоторую площадь поверхности.

3 По ряду причин, включая физиологию глаза, все уровни УФ излучения по 4.3.1 и 4.3.2 применимы к источникам с угловым размером излучения менее 80 градусов (1,4 радиан) т. е. к источникам с угловым размером излучения в пределах 40 градусов к перпендикуляру облучаемой поверхности. Таким образом, излучение источников необходимо измерять только в полном углу 80 градусов, за исключением источников с бóльшим углом излучения.

Измерения энергетической освещенности применимы к следующим опасным воздействиям, в соответствии с 4.3:

- предел облучения глаза E_{UVA} составляет 315 – 400 нм;
- предел опасного ИК облучения E_{IR};
- предел опасного теплового облучения кожи E_H.

Измерения спектральной энергетической освещенности применимы к следующим опасным воздействиям в соответствии с 4.3:

- предел облучения кожи и глаза E_s составляет 200 – 400 нм;
- предел опасного облучения сетчатки синим светом – небольшой источник E_B.

5.2.2 Измерения энергетической яркости

5.2.2.1 Стандартный метод

Данная методика применима для измерений широкополосной и спектральной энергетической яркости. Измерения энергетической яркости проводят с оптической системой (см. рисунок 5.2) так, что:

- изображение лучистого источника падает на приемник излучения;
- система имеет круглый ограничитель поля для получения заданного углового расширения усредненного поля обзора $\alpha_{эфф}$;
- система имеет круглый входной зрачок (диафрагма), который действует как усредненное отверстие для измеренной энергетической освещенности и выполняет те же требования, что и в 5.2.1 (Для небольших углов зависимость между диаметром приемника излучения и фокусным расстоянием изображенного прибора следующая: $d = \alpha_{эфф} H$).

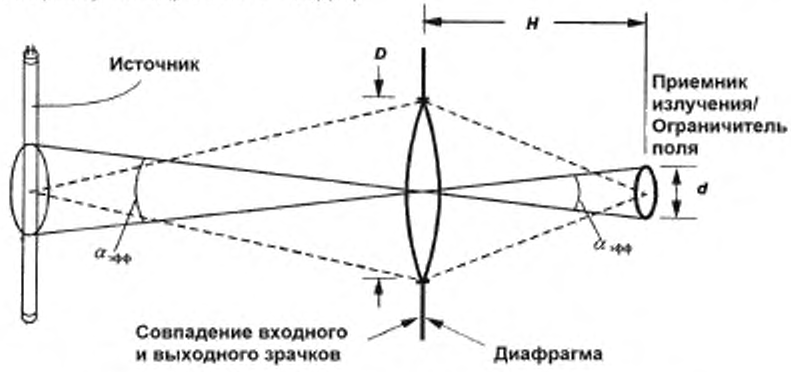

Рисунок 5.2 – Пример изображения прибора для измерений энергетической яркости

Как и при измерениях энергетической освещенности, минимальный диаметр диафрагмы D (см. рисунок 5.2), соответствует диаметру зрачка 7 мм для импульсных источников света и является биофизически усредненным отверстием для источников с непрерывной волной. Если зрачок меньше, то движения глаз и головы позволят усреднить величину данного диаметра диафрагмы. Как и при измерениях энергетической освещенности диаметр диафрагмы может превышать 7 мм, если проекция падающей энергетической освещенности равномерна.

Прибор должен быть откалиброван по абсолютной падающей лучистой мощности на единицу облучаемой площади и единицу телесного угла, усредненного в поле обзора прибора.

Примечание – Измеренная энергетическая яркость не должна быть усреднена на поле обзора, менее заданного, так как это может привести к переоценке опасности. Размер усредненного поля обзора относится к перемещениям глаза, которые распределяют лучистый поток) изображения источника на большую площадь сетчатки. Размер усредненного поля обзора $\alpha_{эфф}$ не зависит от размера источника α. Для источников, у которых угловой размер α менее заданного поля обзора $\alpha_{эфф}$, усредненное значение энергетической яркости будет меньше фактической физической энергетической яркости источника, однако, это биологически эффективное значение – является соответствующим значением, которое будет сопоставлено с пределом облучения.

Измерения спектральной энергетической яркости применимы к следующим опасным воздействиям в соответствии с 4.3:

- предел облучения сетчатки опасным синим светом L_B;
- предел теплового облучения сетчатки L_R;
- предел теплового облучения сетчатки – слабый визуальный стимул L_{IR}.

5.2.2.2 Альтернативный метод

Измерения энергетической яркости могут быть приняты как измерения энергетической освещенности, выполненные с хорошо определенным полем обзора, где измеренное значение энергетической освещенности делят на измеренное поле обзора для получения значения энергетической яркости. Альтернативно установке для измерений энергетической яркости (см. выше), выполнение измерений энергетической яркости может быть проведено на установке измерений энергетической освещенности с кольцевым ограничителем поля перед источником (см. рисунок 5.3). Размер ограничения поля F и расстояние от него до диафрагмы r определяют поле обзора по формуле

$$\gamma = F/r. \tag{5.1}$$

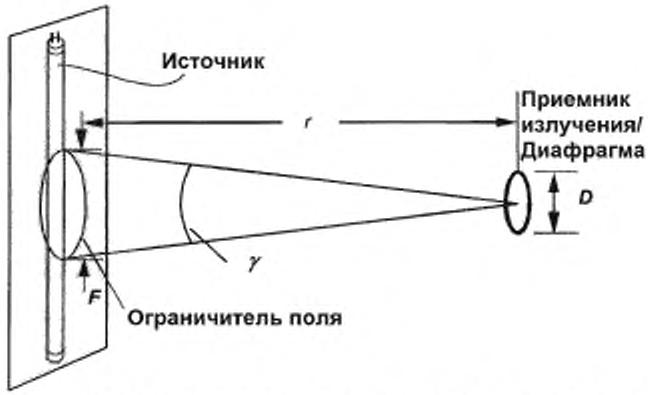

Рисунок 5.3 – Альтернативная схема измерений энергетической яркости

Эта установка предполагает, что ограничитель поля может быть расположен достаточно близко к видимому источнику для создания требуемого поля обзора.

Зависимость между измеренной энергетической освещенностью E и энергетической яркостью источника L для нахождения нормали к площади источника (θ равно нулю в определении 3.31) для малых углов определяют по формуле:

$$E = L\Omega, \tag{5.2}$$

где Ω – угол поля обзора, стерадиан, т.е. телесный угол, образованный плоскостным углом γ, радиан, показанный на рисунке 5.3.

Кроме того, для небольших углов зависимость между плоским углом γ и телесным углом Ω определяют по формуле:

$$\Omega = \frac{\pi\gamma^2}{4}. \tag{5.3}$$

Таким образом, используя размеры на рисунке 5.3, энергетическую освещенность определяют, применяя терминологию энергетической яркости, по формуле:

$$E = L\frac{\pi\gamma^2}{4} = L\frac{\pi F^2}{4r^2}. \tag{5.4}$$

При измерениях энергетической освещенности для получения значений энергетической яркости, чтобы сравнивать с данной опасностью, диаметр ограничения поля F должен быть установлен так, чтобы $\gamma = \alpha_{эфф}$.

Примечание – Предел энергетической освещенности опасным синим светом от небольшого источника эквивалентен пределу энергетической яркости для заданного измерения усредненного поля обзора. Предел энергетической освещенности получают умножением предела энергетической яркости на усредненное значение измеренного поля обзора по уравнению (5.4).

5.2.3 Измерения размеров источника

Угловой размер источника α определяют по 50 % точек излучения источника. Общие методы использования фотографии или камер могут быть применены только после подтверждения, что спектральная однородность достаточна для использования видимого излучения в качестве аналога

для ИК излучения. Изменения спектра источника могут привести к различным изменениям в различных областях спектра излучения (См. Sliney and Wolbarsht, 1980 г, пункт 12.6.6).

5.2.4 Измерения ширины импульса для импульсных источников

Номинальную продолжительность импульса источника Δt определяют временем, в течение которого излучение составляет более 50 % пикового значения. Общие методы, например, использование фотоэлемента с осциллографом, следует применять только после подтверждения того, что спектральная однородность достаточна для использования видимого излучения в качестве аналога для УФ или ИК излучений. Изменения спектра источника в течение импульса могут привести к различной ширине импульса в различных областях спектра излучения.

5.3 Методы анализа

5.3.1 Интерполяция взвешенных кривых

Взвешенных кривых, определенных по таблице 4.1, обычно не достаточно для выполнения взвешенных расчетов излучений источника. Функции достаточно линейны в любой локальной зоне на полулогарифмических координатах. Поэтому для стандартизации интерполированных значений используют линейную интерполяцию на логарифме данных значений для получения промежуточных точек в желаемых интервалах длин волн, например, рекомендуют интервал в 1 нм. По результатам интерполированных значений с помощью антилогарифмов определяют интерполированные взвешенные коэффициенты.

5.3.2 Расчеты

Расчет значений опасностей от источника следует проводить путем оценки спектрального сканирования соответствующей функцией и расчета полной взвешенной энергии. Для воспроизводимости метода настоящий стандарт предлагает интерполяцию или суммирование через 1 нм для спектра менее 400 нм. Затем оценку и суммирование проводят на этой разрешающей способности в 1 нм. В области более 400 нм рекомендуют интервал 5 нм.

5.3.3 Неопределенность измерения

Все результаты измерений должны быть количественно определены путем анализа неопределенности. Все полученные результаты должны быть сопряжены со значениями неопределенности, в соответствии с требованиями указанными в нормативных ссылках. Неопределенность каждого результата должна быть рассчитана как расширенная неопределенность, которую вычисляют из суммарной стандартной неопределенности u_c путем использования коэффициента охвата $k = 2$ по ИСО «Руководство по выражению неопределенности в измерениях, ИСО, Женева, 1995 г.» (см. раздел 2). Значения неопределенности должны рассчитываться исходя из неопределенности калибровки с учетом всех источников по приложению С.

Таблица 5.4 – Суммирование пределов энергетической освещенности при облучении поверхности кожи или роговицы

Наименование опасности	Соответствующее уравнение	Диапазон длин волн, нм	Продолжительность облучения, с	Ограничивающее отверстие, радиан (градус)	Предел энергетической освещенности, $Вт \cdot м^{-2}$
Актиничный УФ для кожи и глаз	$E_S = \sum E_\lambda S(\lambda) \Delta\lambda$	200 - 400	Менее 30000	1,4(80)	$30/t$
УФ-А для глаз	$E_{UVA} = \sum E_\lambda \Delta\lambda$	315 - 400	Не более 1000 Более 1000	1,4(80)	$10000/t$ 10
Небольшой источник синего света	$E_B = \sum E_\lambda B(\lambda) \Delta\lambda$	300 - 700	Не более 100 Более 100	Менее 0,011	$100/t$ 1,0
ИК для глаз	$E_{IR} = \sum E_\lambda \Delta\lambda$	780 - 3000	Не более 1000 Более 1000	1,4(80)	$18000/t^{0,75}$ 100
Тепловая для кожи	$E_H = \sum E_\lambda \Delta\lambda$	380 - 3000	Менее 10	2π стерадиан	$20000/t^{0,75}$

Т а б л и ц а 5.5 – Суммирование пределов энергетической яркости при облучении сетчатки

Наименование опасности	Соответствующее уравнение	Диапазон длин волн, нм	Продолжительность облучения, с	Поле обзора, радиан (градус)	Предел энергетической освещенности, Вт·м-2
Синий свет	$L_B=\sum L_\lambda B(\lambda)\Delta\lambda$	300 - 700	0,25 - 10 10 - 100 100 - 10000 Не менее 10000	$0{,}011\sqrt{(t/10)}$ 0,011 $0{,}0011\sqrt{t}$ 0,1	$10^6/t$ $10^6/t$ $10^6/t$ 100
Тепловая для сетчатки	$L_R=\sum L_\lambda R(\lambda)\Delta\lambda$	380 - 1400	Менее 0,25 0,25 - 10	0,0017 $0{,}011\sqrt{(t/10)}$	$50000/(\alpha t^{0,25})$ $50000/(\alpha t^{0,25})$
Тепловая для сетчатки (слабый визуальный стимул)	$L_{IR}=\sum L_\lambda R(\lambda)\Delta\lambda$	780 - 1400	Более 10	0,011	$6000/\alpha$

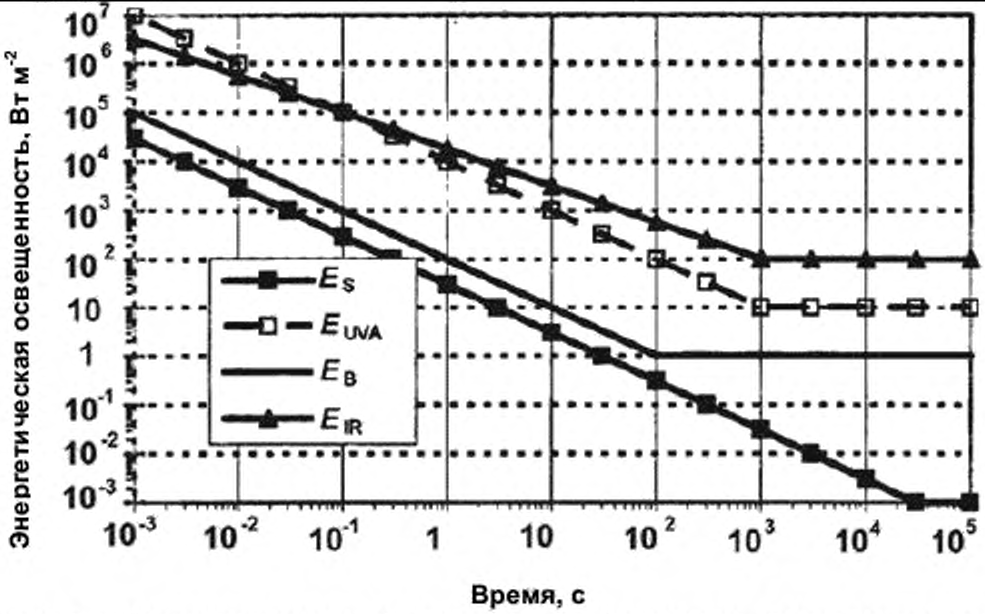

Рисунок 5.4 – Зависимость пределов облучения взвешенной энергетической освещенности от времени для постоянного облучения

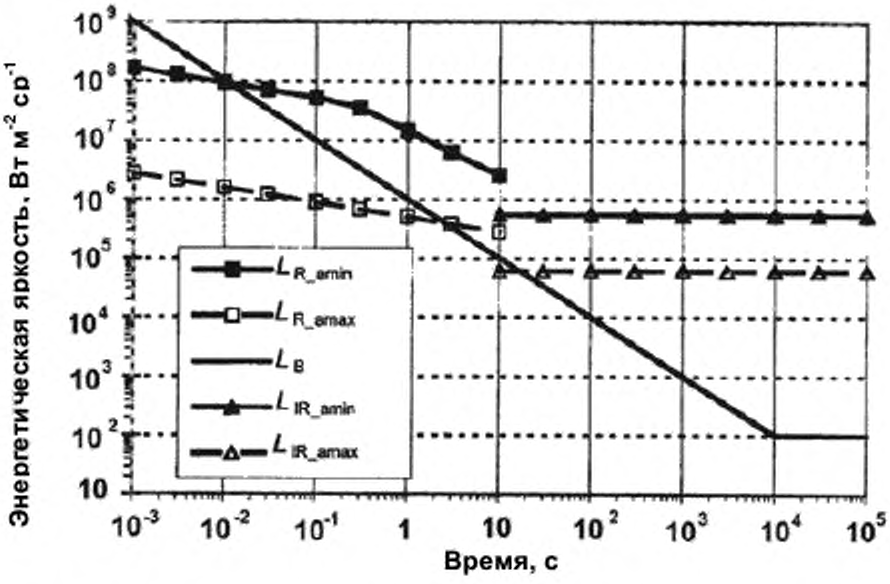

Рисунок 5.5 – Зависимость пределов облучения взвешенной энергетической яркости от времени для постоянного облучения

6 Классификация ламп

Этот стандарт был разработан ТК 6-47 МКО и представлен ПК 34А МЭК. Эти объединенные усилия являются важным фактом в согласовании вопросов, касающихся классификации групп риска и расстояний на которых возникают светобиологические опасности от излучения ламп. Так как лампы могут быть опасными по нескольким критериям, то необходима их классификация.

В настоящем стандарте установлены следующие значения:

- для ламп общего назначения (ЛОН) (п. 3.11), опасные значения должны быть указаны в виде значений энергетической освещенности или энергетической яркости на расстоянии, при котором освещенность составит 500 люкс, но не менее 200 мм;
- для других источников света, включая импульсные, опасные значения должны быть определены на расстоянии 200 мм.

Настоящий раздел касается классификации ламп. Однако, аналогичная система классификации может быть применена к светильникам или другим системам с работающими лампами. Для ламп общего назначения расстояния, на которых проводят измерения энергетической освещенности, зависят от возможностей измерений.

Классификация учитывает только потенциальный риск. В зависимости от используемых факторов, времени облучения и влияния светильника эти потенциальные опасности могут или не могут возникнуть. В таблице 6.1 приведены различные пределы энергетической освещенности и энергетической яркости для каждой из опасностей, указанной в 4.3 для каждой группы риска.

Примечание – В некоторых случаях одни и те же лампы могут быть использованы для общего освещения и специального применения, и тогда их оценивают для предусмотренных целей.

Таблица 6.1 – Пределы облучения для групп риска ламп с непрерывной волной

Риск	Спектр действия	Символ	Пределы облучения			Единица измерения
			Небольшой риск	Средний риск	Большой риск	
Актиничный УФ	$S_{UV}(\lambda)$	E_S	0,001	0,003	0,03	Вт·м$^{-2}$
Ближний УФ		E_{UVA}	10	33	100	Вт·м$^{-2}$
Синий свет	$B(\lambda)$	L_B	100	10000	4000000	Вт·м$^{-2}$·ср$^{-1}$
Синий свет, небольшой источник	$B(\lambda)$	E_B	1,0	1,0	400	Вт·м$^{-2}$

Тепловой для сетчатки	$R(\lambda)$	L_R	28000/α	28000/α	71000/α	Вт·м$^{-2}$·ср$^{-1}$
Тепловой для сетчатки, слабый визуальный стимул**	$R(\lambda)$	L_{IR}	6000/α	6000/α	6000/α	Вт·м$^{-2}$·ср$^{-1}$
ИК излучение для глаз		E_{IR}	100	570	3200	Вт·м$^{-2}$
*Небольшим определен источник с α < 0,011 радиан. Усредненное поле зрения при 10000 с составляет 0,1 радиан. **Не включает оценку для ламп общего назначения.						

6.1 Лампы непрерывной волны

6.1.1 Группа без рисков

В настоящем стандарте к группе без рисков относят лампы, которые не создают никакой светобиологической опасности. Этому требованию удовлетворяют лампы, которые не создают:

- опасного актиничного УФ E_S при облучении в течение 8 ч (30000 с);
- опасного ближнего УФ E_{UVA} в течение 1000 с (около 16 мин);
- опасного синего света для сетчатки L_B в течение 10000 с (около 2,8 ч);
- тепловую опасность для сетчатки L_R в течение 10 с;
- опасного ИК излучения для глаз E_{IR} в течение 1000 с.

Также к группе без рисков относят лампы с ИК излучением без сильного визуального стимула, например, менее 10 кд·м$^{-2}$, и не создающие опасное для сетчатки ближнее ИК излучение L_{IR} в течение 1000 с.

6.1.2 Группа риска 1 (небольшой риск)

К этой группе относят лампы, которые не создают опасность из-за стандартных ограничений по облучению. Этому требованию удовлетворяют лампы, превышающие пределы для группы без рисков, но не создающие:

- опасного актиничного УФ E_S при облучении в течение 10000 с;
- опасного ближнего УФ E_{UVA} в течение 300 с;
- опасного синего света для сетчатки L_B в течение 100 с;
- тепловую опасность для сетчатки L_R в течение 10 с;
- опасного ИК излучения для глаз E_{IR} в течение 100 с.

Также к группе риска 1 (небольшой риск) относят лампы, с ИК излучением без сильного визуального стимула, например, яркость менее 10 кд·м$^{-2}$, и не создающие опасное для сетчатки ближнее ИК излучение L_{IR} в течение 100 с.

6.1.3 Группа риска 2 (средний риск)

К этой группе относят лампы, которые не создают опасности из-за возникновения неприятных ощущений к очень ярким источникам или теплового дискомфорта. Этому требованию удовлетворяют любые лампы, превышающие пределы для группы риска 1, но не создающие:

- опасного актиничного УФ E_S при облучении в течение 1000 с;
- опасного ближнего УФ E_{UVA} в течение 100 с;
- опасного синего света для сетчатки L_B в течение 0,25 с (возникновение отвращения);
- тепловую опасность для сетчатки L_R в течение 0,25 с (возникновение отвращения);
- опасного ИК излучения для глаз E_{IR} в течение 10 с.

Также к группе риска 2 (средний риск) относятся лампы, с ИК излучением без сильного визуального стимула, например, яркость менее 10 кд·м$^{-2}$, и не создающие опасное для сетчатки ближнее ИК излучение L_{IR} в течение 10 с.

6.1.4 Группа риска 3 (большой риск)

К этой группе относят лампы, которые могут создавать опасность даже при моментальном или кратковременном облучении. К группе риска 3 (большой риск) относят лампы, превышающие пределы для группы риска 2 (средний риск).

6.2 Импульсные лампы

К импульсным относят лампы с единичным или несколькими импульсами в течение 0,25 с.

Импульсные лампы следует оценивать при максимальном номинальном значении энергии, указанным изготовителем.

Соответствующее взвешенное лучистое облучение, H или $E{\cdot}t$, или взвешенная доза энергетической яркости, $L{\cdot}t$, интегрированные по времени для каждого импульса, должны быть получены путем интегрирования взвешенной энергетической освещенности или энергетической яркости, излучаемой источником по всей ширине импульса с интегрированием по времени не более 0,25 с. Взвешенную дозу облучения или взвешенную дозу энергетической яркости сравнивают с пределами облучения, приведенным в 4.3 для каждой оцениваемой светобиологической опасности.

Примечание – Полученные взвешенные значения энергетической яркости должны быть усреднены по правильному кольцевому конусному полю обзора с углом 0,0017 радиан, указанного в 4.2.2.

Определение группы риска ламп проверяют следующим образом:

- лампы с превышенным пределом облучения относят к группе риска 3 (большой риск);
- лампы с единичным импульсом, у которых взвешенная доза облучения или взвешенной энергетической яркости ниже предела облучения, относят к группе без риска;
- лампы с повторяющимися импульсами, у которых взвешенная доза облучения или взвешенная доза энергетической яркости ниже предела облучения, оценивают по критерию риска непрерывной волны, указанного в 6.1, используя усредненные значения времени импульсного излучения.

Приложение А
(справочное)

Суммирование биологических эффектов

Лист с параметрами биоэффекта 1: Катаракта от инфракрасного излучения

А.1 Биоэффект: катаракта от ИК излучения известна также как «катаракта от промышленного тепла», «катаракта горняка» или «катаракта стеклодува».

А.1.1 Орган/Место: глаз/прозрачный хрусталик.

А.1.2 Спектральный диапазон: от 700 до 1400 нм и возможно до 3000 нм.

А.1.3 Пик спектра действия: не известен, вероятно между 900 - 1000 нм.

А.1.4 Сведения: ограниченные предельные данные по острой катаракте кроликов при 1064 нм (Wolbarsht, 1992 г) и в зоне ИК-А (Pitts и Cullen, 1981 г.), для человека данных нет. Степень аддитивности и спектр действия не известны. Хорошее эпидемиологическое доказательство (Lydahl, 1984 г).

А.1.5 Со временем: при постоянном высоком уровне облучения в течение нескольких лет происходит заметное помутнение хрусталика. Время прохождения зависит от разницы между облучением и пределом сильного облучения, создающего ответную реакцию в короткое время.

А.1.6 Механизм: обычно предполагают тепловой, хотя недавнее доказательство предполагает возможную светохимическую реакцию. Детали не понятны. Хрусталик может нагреваться от прямого облучения (Vogt, 1919 г.) или от тепла, исходящего от нагретой радужной оболочки глаза (Goldmann, 1983 г.).

А.1.7 Симптомы: снижение зрения.

А.1.8 Необходимая информация: если имеется, то спектр действия жесткого облучения УФ излучением и сопутствующих ему эффектов. Дополнительное облучение и вероятность запоздалых эффектов от повторяющихся облучений.

А.1.9 Эксперимент с лампами: случайные повреждения не известны, даже от теплового облучения ламп. Ограниченное воздействие на людей.

А.1.10 Основные справочные материалы:

WOLDMANN, H. Experimentelle Untersuchugen uber die Genese des Feuerstars. 111 Mitteilung. Die Physic des Feuerstars I. Teil. Arch. fur Ophthalmol., 130, 93 - 130 (1983);

LYDAHL, E. Infrared Radiation and Cataract. Acta Ophtalmologica, Suppl. 166, 1 - 63 (1984);

PITTS, D.G. and CULLEN, A.P. Determination of Infrared Radiation Levels for Acute Ocular Cataractogenesis. von Graefes Arch. Ophthal., 217, 285 - 297 (1981);

SLINEY, D.H. and WOLBARSHT, M.L. Safety with Lasers and Other Optical Sources. New York, Plenum, (1980);

VOGT, A. Experimentelle Erzeugung von Katarakt durch isoliertes kurzwelliges Ultrarot, dem Rot beigemischt ist. Klin. Mb/Augenheilk., 63, 230 - 231 (1919);

WOLBARSHT, M.L. Xataract from Infrared Lasers: Evidence for Photochemical Mechanisms. Lasers and Light Ophthalmology, 4, 91 - 96 (1992).

Лист с параметрами биоэффекта 2: Светокератит

А.2 Биоэффект: световой кератит.

А.2.1 Орган/Место: глаз/роговица.

А.2.2 Спектральный диапазон: от 180 - 200 нм до 400 - 420 нм. В основном 200 - 320 нм.

А.2.3 Пик спектра действия: около 270 нм (Pitts,1971 г). Около 288 нм (Gogan и Kinsey, 1946 г.).

А.2.4 Сведения: хорошие предельные данные по кроликам (от 200 до 400 нм), по обезьянам (от 200 до 320 нм), по людям (от 200 до 300 нм). Данные от разных лабораторий в основном согласованы.

А.2.5 Со временем: заметная реакция после 4 – 12 ч облучения. Время зависит от разницы между облучением и порогом облучения. Жесткое облучение вызывает реакцию за более короткое время, восстанавливается через 24 – 48 ч за исключением очень жестких облучений.

А.2.6 Механизм: фотохимическая реакция является началом цепи биологических реакций. Детали не понятны.

А.2.7 Симптомы: «песок в глазах», блефароспазм (неожиданное сильное, непроизвольное сокращение мышц век), некоторое снижение зрения, сужение глазной щели (прищуривание).

А.2.8 Необходимая информация: наивысший предел разрешающей способности в диапазоне от 305 до 320 нм. Возможность запоздалых эффектов из-за повторяющихся облучений.

А.2.9 Эксперимент с лампами: случайное облучение от бактерицидных ламп, ртутных и ксеноновых дуговых, но только при специальных применениях. Для ограниченного количества людей.

А.2.10 Основные справочные материалы:

GOGAN, D.G. and KINSEY, V.E. Action Spectrum of Keratitis Produced by Ultraviolet Radiation. Arch. Ophthalmol., 35, 670 - 617 (1946);

HEDBLOM, E.E. Snowscape Eye Protection. Arch. Environ. Health, 2, 685 - 704 (1961);

LEACH. W.M. Biological Aspects of Ultraviolet Radiation, A Review of Hazards. BRG/DBE 70-3, U.S. Public Health Service, Bureau of Radiological Health, Rockville, Maryland (Sept. 1970);

MAKKEN, D., FINE, S., Aaron, A., and FINE, B.S. Preventable Hazards at UV Wavelengths. Laser Focus, 7(4), 29 (1971);

PITTS, D.G. and TREDICI, T.J. The Effects of Ultraviolet on the Eye. Ameri. Ind. Hyg. Ass. J. 34(4), 235 - 246 (1971).

Лист с параметрами биоэффекта 3: Светоретинит

А.3 Биоэффект: световой ретинит или «повреждение сетчатки синим светом».

А.3.1 Орган/Место: глаз/сетчатка.

А.3.2 Спектральный диапазон: от 400 до 700 нм (в основном 400-500 нм) в глазу с хрусталиком (прозрачный хрусталик не тронут), от 310 до 700 нм в глазу без хрусталика (прозрачный хрусталик удален). В основном от 310 до 500 нм.

А.3.3 Пик спектра действия: около 445 нм (Ham, 1976 г.). Около 310 нм в глазу без хрусталика (Ham, 1980 г.) в обезьяне - резус.

А.3.4 Сведения: хорошие точные предельные данные для обезьян и некоторые подтверждающие данные для человека по лазерным длинам волн, используемым в медицине, и от случайного взгляда на солнце или сварочную дугу.

А.3.5 Со временем: этот механизм повреждения доминирует над тепловым повреждением только при длительных облучениях (более 10 с). Заметная реакция обычно возникает через 12 ч облучения. Увеличение этого времени зависит от разницы между облучением и порогом облучения. Жесткое облучение вызывает реакцию за более короткое время. Наибольшую реакцию обычно отмечают через 48 ч. Некоторое восстановление отмечают при случайном облучении человека от дуг и взгляда на солнце.

А.3.6 Механизм: светохимическая реакция является началом цепи биологических реакций, концентрирующихся в эпителии пигмента сетчатки. Детали не понятны.

А.3.7 Симптомы: «слепая точка» или скотома, когда яркая дуга изображается на сетчатке. Заметное повреждение сетчатки (обычное удаление пигмента от синего света или сильное удаление пигмента от некоторых УФ длин волн) видно при офтальмогическом осмотре после 48 ч облучения. Потеря зрения может быть окончательной, хотя в некоторых случаях отмечают восстановление.

А.3.8 Необходимая информация: Как можно больше данных по механизму повреждения. Данные по облучению в диапазоне от 400 до 450 нм в течение менее 10 с. Данные по аддитивности многочисленных облучений и вероятность возникновения запоздалых эффектов от повторяющихся облучений при уровнях ниже точных порогов облучения.

А.3.9 Эксперимент с лампами: чрезвычайно редкие или в большинстве случаев не сообщенные повреждения из-за чрезмерного облучения от взгляда на лампы. Естественное чувство неприятного ощущения обычно ограничивает облучение, что предотвращает световой ретинит. Для ограниченного количества людей.

А.3.10 Основные справочные материалы:

HAM, W.T. Jr, MUELLER, H.A., and SLINEY, D.H. Retinal Sensitivity to Damage by Short-Wavelength Light. Nature, 260(5547), 153 - 155 (1976);

HAM, W.T. Jr, RUFFOLO, J.J. Jr, MUELLER, H.A., and GUERRY, D. The Nature of Retinal Radiation Damage: Dependence on Wavelength, Power Level and Exposure Time. Vision Res., 20(12), 1105 - 1111 (1980);

MAINSTER, M.A. Spectral Transmission of Intraocular Lenses and Retinal Damage from Intence Light Sources. Am. J. Ophthalmol., 85, 167 - 170 (1978);

MARSHALL, J. Light Damage and the Practice of Ophthalmology. In: Intraocular Lens Implantation, Rosen E., Arnott, E., and Haining, W. (eds). London, Moseby-Yearbook, Ltd. (1983);

PITTS, D.G. The Human Ultraviolet Action Spectrum. American Journal Optom. Physion. Opt., 51, 946 - 960 (1974);

SLINEY, D.H. Eye Protective Techniques for Bright Light. Ophthalmology, 90(8), 937 - 944 (1983);

SLINEY, D.H. and WOLBARSHT, M.L. Safety with Lasers and Other Optical Sources. New York, Plenum (1980);

SPERLING, H.G. (ed). Intense Light Hazards in Ophthalmic Diagnosis and Treatment. Proceedings of a Symposium, Vision Res., 20(12), 1033 - 1203 (1980).

VARMA, S.D. and LERMAN, S. (eds).Proceedings of the First International Symposium on Light and Oxiden Effeccts on the Eye. Oxford: IRL. Press (1984) [also published as Current Eye Res., 3(1) (1984)];

WAXIER, M. and HITCHENS, V. (eds). Optical Radiation and Visual Health. Boka Raton, CRC Press (1986);

WILLIAMS, T.B. and BAKER, B.N. (eds). The Effects of Constant Light on the Visual System. New Work, Plenum Press, (1980);

YOUNG, R.W. Atheory of central Retinal Desiase. In: New Directions in Opthalmic Research, Sears, M.L. (ed). New Haven, Yale University Press, 237 - 270 (1981).

Лист с параметрами биоэффекта 4: Тепловое повреждение сетчатки

А.4 Биоэффект: тепловое повреждение сетчатки.

А.4.1 Орган/Место: глаз/сетчатка и сосудистая оболочка.

А.4.2 Спектральный диапазон: от 400 до 1400 нм. В основном от 400 до 1100 нм.

А.4.3 Пик спектра действия: около 500 нм (Ham, 1966 г.).

А.4.4 Сведения: хорошие точные данные порога облучения для кроликов и обезьян и ограниченные данные для человека. Данные от разных лабораторий в основном согласованы.

А.4.5 Со временем: этот механизм повреждения доминирует над светохимическим повреждением сетчатки при коротком облучении (менее 10 с) или при длинах волн более 700 нм. Заметная реакция возникает обычно сразу или через 5 мин после облучения. Восстановление ограничено или невозможно.

А.4.6 Механизм: термохимическая реакция разрушения протеина и других ключевых биологических компонентов клеток с разрушением биологической ткани. Поглощение света и начальное повреждение сконцентрированы в пигментной эритеме и сосудистой оболочке сетчатки.

А.4.7 Симптомы: «слепая точка» или скотома, когда яркий свет изображен на сетчатке. Заметное повреждение сетчатки (обычное удаление пигмента) видно при офтальмогическом осмотре после 24 ч облучения. Потеря зрения будет наибольшей сразу после облучения и частичное восстановление возможно в течение 14 суток.

А.4.8 Необходимая информация: данные по облучению больших изображений (более 1 мм).

А.4.9 Эксперимент с лампами: по расчетам лампа не способна вызывать этот вид повреждения. Как показывает работа в клиниках ксеноновая дуга, сфокусированная на глаза, может оказать это воздействие. Это происходит чрезвычайно редко или в большинстве случаев не сообщают о повреждении от взгляда на увеличенную ксеноновую дугу. Естественное чувство неприятного ощущения обычно ограничивает облучение, что предотвращает повреждение.

А.4.10 Основные справочные материалы:

ALLEN, R.A. Retinal Thermal Injury. Proc ACGIH Topical Symposium, 26-28 November 1979, ACGIH, Cincinnati, Ohio (1980);

HAM, W.T. Jr, RUFFOLO, J.J. Jr, MUELLER, H.A., and GUERRY, D. The Nature of Retinal Radiation Damage: Dependence on Wavelength, Power Level and Exposure Time. Vision Res., 20(112), 1105 - 1111(1980);

HAM, W.T. Jr, WILLIAMS, R.C., GEERAETS, W.J. MUELLER,H.A., GUERRY,D., CLARKE, A.M., and GEERAETS, W.J.Effects of Laser Radiation on the Mammaline Eye. Trans. NY Acad. Sci., 28, 517 - 526 (1966);

SLINEY, D.H. and WOLBARSHT, M.L. Safety with Laser and Other Optical Sources. Plenum, New York (1980).

Лист с параметрами биоэффекта 5: Катаракта от ультрафиолетового излучения

А.5 Биоэффект: катаракта от УФ излучения.

А.5.1 Орган/Место: глаз/прозрачный хрусталик.

А.5.2 Спектральный диапазон: от 290 до 325 нм. Возможно до 400 нм.

А.5.3 Пик спектра действия: действие около 305 нм (Pitts, 1977 г) для сильной катаракты. Спектр не оказывает воздействия при длинах волн более 325 нм (Lerman, 1980 г., Zigman,1979 г.).

А.5.4 Сведения: хорошие точные данные порога облучения для кроликов и обезьян (от 295 до 325 нм). Нет данных для выраженной катаракты человека, но имеется эпидемиологическое доказательство для хронического облучения УФ-В облучением (Taylor, 1988 г.).

А.5.5 Со временем: заметное помутнение хрусталика обычно через 4 ч облучения или более. Время зависит от разницы между облучением и порогом облучения. Жесткое облучение вызывает реакцию за короткое время. В противном случае помутнения хрусталика останется навсегда.

А.5.6 Механизм: фотохимическая реакция. Детали не ясны.

А.5.7 Симптомы: снижение зрения.

А.5.8 Необходимая информация: если имеется, то спектр действия жесткого облучения УФ излучением. Дополнительное облучение и вероятность запоздалых эффектов от повторяющихся облучений.

А.5.9 Эксперимент с лампами: случайные повреждения, даже от облучения ксеноновыми лампами. Для ограниченного количества людей.

А.5.10 Основные справочные материалы:

BRACHEM, Ophtalmic ultraviolet action spectra. Am. J. Ophtalm., 41, 969 - 976 (1956);

LERMAN, S. Radiant energy and the Eye. Mac Millian, Inc., New York, (1980);

PARRISH, J.A., ANDERSON, R.R., URBACH, F., and PITTS, D. UV-A: Biological Effects of Ultraviolet Radiation with Emphasis on Human Responses to Longwave Ultraviolet. Plenum Press, New York (1978);

PITTS, D.G. The Ocular Ultraviolet Action Spectrum and Protection Criteria. Health physics, 25, 559 - 566 (1973);

PITTS, D.G., CULLEN, A.P., and HACKER, P.D. Ocular Ultraviolet Effects from 295-1000 nm. Invest. Ophtalmol. Vis. Sci., 16(10), 932 - 939 (1977);

SLINEY, D.H. Estimating the Solar Ultraviolet Radiation Exposure to an Intraocular Lens Implant. J. Cataract Refract. Surg., 13, 296 - 301,May 1987;

SLINEY, D.H. Physical Factors in Cataractogenesis – Ambient Ultraviolet Radiation and Temperature. 27(5), 781-790, 1986;

TAYLOR, H.R., WEST, S.K., ROSENTHAL, F.S., MUNOZ, B., NEWLAND, H.S.,ABBEY, H., and EMMETT, E.A. Effect of Ultraviolet on Cataract Formation. New England Journal of Medicine, 319, 1429 (1988);

WAXIER, M. and HITCHENS, V. (eds). Optical Radiation and Visual Health. Boca Raton, CRS Press (1986);

ZIGMAN, S., DATILES, M., and TORCYZNSKY, E. Sunlight and Human Cataracts. Invest. Ophtalmol. Vis. Sci., 18(5), 462 - 467, 1979;

ZUCLICH, J.A. and CONNOLLY, J.S. Ocular Damage Induced by Near Ultraviolet Laser Radiation. Invest. Ophtalmol., 15, 760 - 764 (1976).

Лист с параметрами биоэффекта 6: Эритема от ультрафиолетового излучения

А.6 Биоэффект: эритема от УФ излучения.

А.6.1 Орган/Место: кожа.

А.6.2 Спектральный диапазон: от 180 – 200 нм до 400 - 425 нм. В основном 200 - 320 нм.

А.6.3 Пик спектра действия: около 295 нм (Urbach, 1968 г., Anders 1995 г.); около 254 нм (Hausser, 1928 г., Coblentz, 1932 г., Freeman, 1966 г.).

А.6.4 Сведения: хорошие точные данные порога облучения для человека (от 254 до 400 нм). Данные от разных лабораторий в основном согласованы, если учитывать два спектра действия: один – на 4 - 8 ч, другой – на 24 - 48 ч.

А.6.5 Со временем: заметная реакция обычно проявляет себя через 4 - 12 ч облучения. Время зависит от разницы между облучением и порогом облучения. Жесткое облучение вызывает реакцию за короткое время. Восстановление за 24 - 48 ч, за исключением чрезвычайно сильных облучений.

А.6.6 Механизм: фотохимическая реакция является началом цепи биологических реакций. Данные не установлены (van der Leun, 1965 г.).

А.6.7 Симптомы: «солнечный ожог», покраснение кожи в местах УФ облучения.

А.6.8 Необходимая информация: самая высокая чувствительность при пороге облучения в диапазоне 305 - 320 нм. Возможные запоздалые эффекты из-за повторяющихся облучений.

А.6.9 Эксперимент с лампами: случайное облучение от бактерицидных ламп, ртутных и ксеноновых дуговых, но только при специальных применениях. Преднамеренное облучение от ламп со спектром излучения приближенным к солнечному.

А.6.10 Основные справочные материалы:

ANDERS, A., ALTHEID, H., KNALMANN, M., and TRONNIER, H. Action Spectrum for Erythema in Humans Investigated with Dye Lasers. Photochemistry and Photobiology, 61, 200, (1995);

COBLENTZ, W.W. and STAIR, R. Data on the Spectral Erythemic Reaction of the Untanned Human Skin to Ultraviolet Radiation. Bur. Stand. J. Res., 8, 541 (1932);

COBLENTZ, W.W. and STAIR, R. Data on the Spectral Erythemic Reaction of the Untanned Human Skin to Ultraviolet Radiation. Bur. Stand. J. Res., 12, 13 - 14 (1934);

COBLENTZ, W.W., STAIR, R., and HOGUE, J.M. The Spectral Erythemic Reaction of the Human Skin to Ultraviolet Radiation. Proc. Nat. Acad. Sci. U.S., 17, 401 - 403 (June 1931);

FITZPATRICK, T.B., PATHAK, M.A., HARBER, L.C., SIEJI, M., and KUKITA, A. ()eds). Sunlight and Man. Tokyo, Tokyo University Press (1974);

FITZPATRICK, T.B. Dermatology in general medicine 5th ed. McGraw Hill, New York, pp. 1555 - 1561, (1999) and its references;

FREEMAN, R.G., OWENS, D.W., KNOX, J.M., and HUDSON, H.T. Relative Energy Requirements for an Erythemal Response of Skin to Monochromatic Wavelengths of Ultraviolet Present in the Solar Spectrum. J. Invest. Dermat., 64, 586 - 592 (1966);

HAUSSER, K.W. Influence of Wavelength in Radiation Biology. Strahlentherapie, 28, 25 - 44 (1928);

HAUSSER, K.W. and VAHLE, W. Sunburn and Suntanning. Wissenschaftlche Veroffentlichungen des Siemens Konzerns 6(1), 101-120 (1927) Translated in: Biological Effects of Ultraviolet Radiation (F. Urbach, ed), Pergamon Press, New York (1969);

HAWK ed. Photodermatology. Arnold, London, pp 43 - 52, (1999) and its references.

ISO 17166:1999 / CIE S007-1998 Erythema reference action spectrum and standard erythema dose;

van der LEUN, J.C. Theory of Ultraviolet Erythema. Photochemistry and Photobioilogy, 4, 453, (1965);

LUCKIESH, M., Holladay, L.L., and TAYLOR, A.H. Reaction of Untanned Human Skin to Ultraviolet Radiation. J. Opt. Soc. Amer., 20, 423 - 432 (1930);

PARRISH, J.A., JAENICKE, K.F. and ANDERSON, R.R. Erytema and melanogenesis action spectrum of normal human skin. Photochemistry and Photobioilogy, 36, 187, 1982;

SCHMIDT, K. On the Skin Erythema Effect of UV Flashes. Strahlentherapie, 124, 137 - 136 (May 1964);

URBACH, F. (ed). The Biologic Effects of Ultraviolet Radiation. Pergamon Press, New York. pp. 83 - 39, 327 - 436, 541 - 654, (1968);

World Health Organization. Ultraviolet Radiation. Environmental Health Criteria 14, WHO, Geneva (1979).

Приложение В
(справочное)

Метод измерений

В.1 Средства измерения

В.1.1 Двойной монохроматор: рекомендуемый прибор

Измерения источника в целях классификации опасности требует точности при калибровке и испытаниях. Широкая спектральная чувствительность приемника излучения и высокая спектральная разрешающая способность, необходимые для обеспечения точной оценки, приводят к жестким требованиям для случайного внеполосного светового отклонения. Источники для калибровки обеспечивают широкое спектральное выходное значение характеристики, которое должно быть исключено из полосы пропускания. Отношение внеполосной энергии к энергии полосы пропускания при 270 нм для вольфрамовых или вольфрамовых галогенных ламп для калибровки должно быть менее 10^{-4}. Двойной монохроматор – это единственный прибор, который обеспечивает необходимую селективность, и он рекомендован для измерений опасности, УФ и видимого излучений. Признано, что система монохроматора ограничивает удобство и скорость. Единичный монохроматор используют в УФ или видимом спектре только тогда, если результаты сравнимы с теми результатами, которые могут быть получены с двойным монохроматором. Например, единичный монохроматор может быть достаточен для таких ламп, как светодиодные, которые имеют очень ограниченную спектральную полосу излучения.

В.1.2 Широкополосные приемники излучения

Можно использовать современные широкополосные приемники излучения, откалиброванные по соответствующему спектру действия и с соответствующей точностью. Они удобны для использования с импульсными источниками короткой продолжительности или малоинтенсивными источниками. Широкополосные сенсоры опасности обычно выравнивают взвешенный спектр путем использования фильтров. Выравнивание никогда не бывает точным и приводит к некоторым погрешностям. Спектральная погрешность вносится в неопределенность только в том случае, когда спектр источника и спектральная чувствительность приемника излучения неизвестны.

Если спектр источника неизвестен, то пик наибольшего отклонения в процентном соотношении между показаниями приемника и спектром действия должен быть представлен как неопределенность. Это определение неопределенности должно включать рассмотрение спектральной зоны, где спектр действия равен нулю.

Когда известны чувствительность приемника излучения и спектр источника, тогда прямые подсчеты могут установить поправочный коэффициент. Используя соответствующие поправочные коэффициенты, широкополосный приемник излучения обеспечивает обоснованный метод измерений по настоящему стандарту. Метролог должен показать, что поправочный коэффициент обоснован в каждом конкретном случае. Варианты, которые приводят или могут привести к изменениям в спектре, требуют пересмотра поправочного коэффициента.

Примечание – Комбинация широкополосных радиометров и двойного монохроматора может улучшить процесс измерений во многих случаях. Исследование пространственных, временных или случайных изменений от типов источников света можно быстро провести с использованием приемника излучения с фильтром.

В.2 Ограничения средств измерения

В.2.1 Шум, эквивалентный энергетической освещенности

Все средства измерения имеют предел, ниже которого измерения невозможны. Для анализа опасности ошибочно отмечать нулевой сигнал, в том случае, когда измеренное значение находится ниже предела средства измерения. Средство измерения, используемое для проверки опасности, должно иметь характеристику, определяющую уровень или уровни предела измерений. При нулевом показании средства измерения или ниже предела измерений должен быть указан соответствующий предел измерений. Если величина предела средства измерения имеет такой значительный уровень, что влияет на классификацию источников, то необходимо средство измерения более высокого качества.

Примечание – Предел измерений спектрорадиометра обычно связан с пределом шума приемника излучений. Предел шума приемника излучения может быть принят как среднее квадратичное изменение темнового сигнала приемника излучения. Значение предела шума приемника излучения, умноженное на значение диапазона спектра калибровки системы, для получения спектра в том же диапазоне, что и при

измерении, называют «эквивалентный входной сигнал шума. Указанное спектральное измерение имеет большее значение при каждой длине волны измеренного спектра и эквивалентном входном сигнале шума.

В.2.2 Спектральная чувствительность средства измерения

Вид спектральной чувствительность (функция щели) и отношение измеренного интервала к ширине полосы будут определять способность системы точно измерять сигналы с узким спектром, например, линии излучения атома (см. Kostkowski, 1997 г., глава 5).

Монохроматор с совершенной треугольной спектральной чувствительностью (функция щели) используют в системе, которая имеет указанный интервал, который ровно разделен на ширину полосы со всеми точно измеренными сигналами независимо от их вида спектральной чувствительности (см. МКО 63 - 1984, п. 1.8.4.2.1 или Kostkowski, 1997 г., п. 5.9). Отклонение от этого может привести к ошибкам при измерениях энергии. Спектральная чувствительность системы должна быть определена высокой спектральной разрешающей способностью для измерения источника света с узкой длиной волны. Измеренный спектр должен быть симметричен длине волны источника, чтобы представлять чувствительность системы при установлении на единственную длину волны. Способность системы точно измерять энергию от узкополосного сигнала – точность получения суммы спектральных чувствительностей для каждой объявленной длины волны. Колебание в суммированном спектре – это потенциальная погрешность в общем измеренном сигнале, которая должна быть учтена при анализе неопределености.

Характеристики средства измерений будут влиять на результаты оценок опасностей. Ширина полосы монохроматора будет изменять взвешенные результаты любого спектра при измерениях уровней. Все средства измерений с ограниченной шириной полосы дают сигнал при неправильной длине волны, приводя к погрешностям во взвешенной сумме.

Таблица В.1 показывает рекомендуемую ширину полосы на 2 % более границы и неопределенности во взвешенных суммах.

Таблица В.1

Диапазон λ, нм	Ширина полосы (FWHM)
$200 \le \lambda < 400$	Не более 4 нм
$400 \le \lambda < 600$	Не более 8 нм
$600 \le \lambda < 1400$	Не более 20 нм
$1400 \le \lambda$	Без ограничения

Более сложный анализ, который учитывает спектр источника, может быть использован для уменьшения предлагаемой точности ширины полосы. Результаты анализа должны быть включены в объявленную неопределенность измерений.

Примечание – Системы, которые постоянно суммируют сигнал в течение спектрального сканирования, не будут создавать погрешностей в полной измеренной мощности от вида спектральной чувствительности или от отношения ширины полосы к объявленному интервалу. Большие значения ширины полос все еще будут приводить к погрешностям во взвешенных результатах с этим типом прибора.

В.2.3 Точность длины волны

Точность длины волны средства измерения, используемого для определения спектрального вида источника, имеет большое влияние на взвешенные значения. Например, опасная взвешенная функция УФ $S_{UV}(\lambda)$ изменяется с чрезвычайной скоростью, т.е. 250 % на 3 нм при 300 нм. Если требуется приемлемый предел погрешности, то измеренная энергия должна быть оценена на определенной длине волны, тем самым она становиться приблизительно взвешенной.

Таблица В.2 представляет собой пример изменения взвешенных результатов от заданного интервала измерения 0,1 нм. Измеренные значения определяют с помощью спектрорадиометра с треугольной чувствительностью, шириной полосы 2 нм, заданным интервалом 1 нм. Сумма измеренных значений одинакова как указано в смещенной строке из-за положений В.2.2. Взвешенное значение меняется на 2,5 % при изменении длины волны на 0,1 нм. Погрешность этой величины может возникнуть тогда, когда длина волны средства измерения имеет погрешность 0,1 нм.

Таблица В.2 – Пример погрешности во взвешенном значении из-за погрешности в длине волны

Длина волны, нм	Опасная взвешенная функция УФ $S_{UV}(\lambda)$	305 нм		305,1 нм		Отношение сумм
		Измеренное значение	Взвешенное значение	Измеренное значение	Взвешенное значение	
304	0,08485	0,25000	0,02121	0,22500	0,01909	–
305	0,06000	0,50000	0,03000	0,47500	0,02850	–
306	0,04540	0,25000	0,01135	0,27500	0,01249	–
307	0,03436	0,00000	0,00000	0,02500	0,00086	–
Сумма	–	1,0000	–	1,0000	–	Не менее 100%
Сумма	–	–	0,06256	–	0,06094	Не менее 97,4%

Точность длины волны монохроматора, используемого для проверки опасности, должна быть достаточной для обеспечения взвешенных результатов с погрешностью, возникающей от неточности длины волны, менее 3 %. Следовательно, необходимая точность зависит от зоны спектра и используемой взвешенной функции. В таблице В.3 указана предлагаемая точность с погрешностью около 3 %.

Таблица В.3 – Рекомендуемая точность длины волны

Диапазон λ, нм	Точность длины волны, нм
$200 \le \lambda < 300$	0,2
$300 \le \lambda < 325$	0,1
$325 \le \lambda < 600$	0,2
$600 \le \lambda < 1400$	2

Более сложный анализ, учитывающий спектр источника, может быть использован для снижения предлагаемой точности длины волны. Результаты анализа должны быть включены в объявленную неопределенность измерений.

В.2.4 Случайная лучистая мощность

Абсолютная калибровка спектрорадиометров требует использования источников с широким спектральным выходом и высокой энергией. Если спектрального отражения недостаточно, то при калибровке должна быть учтена дополнительная энергия из других частей спектра. Результатом этого вида погрешности является недостаток калибровки спектрорадиометра, что приводит к уменьшению значения потенциальной опасности. Обычное отношение между полной энергией и сигналом, принимаемым монохроматором, составляет порядка 10^4. Для получения точности 1% необходимо, чтобы отказ от внеполосного излучения составлял порядка 10^6. (См. МКО 63-1984).

В.2.5 Входная оптика для измерений спектральной энергетической освещенности: Рекомендация

Несколько результатов получают с помощью монохроматоров со стандартной входной оптикой. Источник для калибровки и измеряемый источник могут иметь разную полярность или разный размер, приводящие к изменениям входного угла. Кроме того, измеренные источники будут иметь малые и большие угловые размеры. Эта разница может привести к погрешностям в измерениях. Используя фотометрический шар в качестве входного устройства монохроматора, рекомендуется метод измерений энергетической освещенности, так как случайный коэффициент отражения покрытия деполяризует входящий свет и правильный расчет должен выравнивать насколько возможно косинусную чувствительность и, кроме того, увеличить отражения в фотометрическом шаре, которые постоянно попадают во вход радиометра. Еще большие трудности возможны с косинусной чувствительностью УФ приемников излучения.

В качестве входного устройства для монохроматора или радиометра также может быть использован правильно рассчитанный рассеиватель.

В.2.6 Линейность

Предполагается, что отдельная испытуемая лампа или средство измерения, имеет другую радиометрическую величину, чем источник, используемый для калибровки испытательной системы. Для калибровки предпочтительно, чтобы была известна линейность системы, и измерения следует выполнять в пределах этой линейности. Нелинейность в пределах системы может быть исправлена путем использования функции калибровки, приводящей систему к линейности. Это регулирование должно быть применено к калибровке и измерениям.

В.3 Источники для калибровки

Рекомендуемыми источниками для калибровки являются дейтериевая разрядная лампа для УФ области и калиброванная вольфрамовая или вольфрамовая галогенная лампа для более высоких длин волн, УФ, видимой и ближней ИК области спектра. У дейтериевой лампы может меняться световой поток при сохранении вида спектра. Поэтому калибровка системы в области от 200 до 350 нм с использованием дейтериевой лампы должна быть скоррелирована уровнем калибровки вольфрамовой (вольфрамовой галогенной) лампы от 250 до 350 нм. Длина волны, ниже которой используют дейтериевую лампу, должна быть как короткой, так и учитывающей шум при калибровке вольфрамовой (или вольфрамовой галогенной) лампы на практике.

Приложение С
(справочное)

Анализ неопределенности

Анализ неопределенности требует, чтобы все источники неопределенности были оценены количественно. Первым этапом в анализе неопределенности является идентификация различных источников неопределенности. Ниже приведен перечень, который может стать началом оценки неопределенности измерений, используемых для классификации ламп и ламповых систем. Подробности изложены в МКО 53-1982 «Методы определения характеристик радиометров и фотометров».

Объект или процедура	Источник неопределенности
Средство измерения	Длина волны
	Ширина полосы
	Чувствительность к изменяющемуся спектру
	Линейность
	Стабильность
	Случайный свет: Вне дорожки Вне полосы
Калибровка	Стандарты (с установленной неопределенностью)
	Расстояние
	Центровка
	Электрическая работа
Измерения	Центровка
	Расстояние
Испытуемый источник	Стабильность
	Температура
	Размер
	Электрическая работа

Отдельные коэффициенты неопределенности должны быть найдены или рассчитаны. Затем каждый коэффициент применяют при измерениях для нахождения влияния на взвешенные значения по классификации опасности. Как видно в 5.3.3. процент влияний на взвешенные значения может отличаться от процента неопределенности отдельного коэффициента. Это видно по изменению светового потока лампы накаливания в функции входного тока. С изменением тока меняется энергия, поглощаемая лампой и, следовательно, меняются сопротивление и температура лампы. Изменение тока не вызовет линейное изменение общего светового потока. Из-за изменения температуры световой поток при единичной длине волны может не изменяться в полном световом потоке. Хотя изменения и не линейны, но для малых изменений могут считаться линейными. Обычно для распространения неопределенности необходимо найти изменения окончательного значения относительно изменений начальных факторов. Это отношение влияния на изменение входного значения называют чувствительностью. Например, для лампы накаливания небольшое изменение тока приведет к изменению светового потока при интересующей длине волны, как показано в таблице С.1.

Таблица С.1 – Пример распространения неопределенности

	Ток лампы	Сигнал при 300 нм
Установка 1	8,2000	8451
Установка 2	8,2011	8461
Изменение	0,0134 %	0,118 %

Чувствительность составляет 0,118 %/0,0134 % = 9.

Неопределенность тока 0,1 % вызовет неопределенность светового потока 0,9 % при 300 нм.

Каждая неопределенность должна быть определена по окончательному значению и выражена в процентах. Все неопределенности объединяют в квадратуру и эта объединенная неопределенность, выраженная в процентах, затем приводится вместе с измеренными значениями.

Приложение D
(справочное)

Общий справочный материал

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). TLVs and BEIs; Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents; Biological Exposure Indices. Cincinnati, AGGIH.

ANSI/IESNA (American National Standard Institute / Illuminating Engineering Society of North America) RP27.1 - 96. Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps – General Requirements. New York, IESNA 1996.

ANSI/IESNA (American National Standard Institute / Illuminating Engineering Society of North America) RP27.2-00. Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps – Measurement Techniques. New York, IESNA 2000.

ANSI/IESNA (American National Standard Institute / Illuminating Engineering Society of North America) RP27.3-96. Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps – Risk Group Classification & Labeling. New York, IESNA 1996.

CIE 134/3-1999 Recommendation on Photobiological Safety of Lamps. A review of standards. In CIE Collection in Photobiology and Photochemistry (1999).

CIE x016-1998 Measurement of Optical Radiation Hazards.

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Guidelines on UV radiation exposure limits. Health Physics 71, 978, (1996).

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Guidelines on limits of exposure to broadband incoherent optical radiation (0,38 to 3 μm). Health Physics 73, 539 - 554, (1997).

IEC Technical Report 60825-9 Safety of laser products, Part 9: Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation, 1999.

IRPA/INIRC (International Non-Ionizing Radiation Committee). Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (Incoherent optical radiation). Health Physics 49, 331 - 340, (1995) and 56, 971 - 972, (1989).

KOSTKOWSKI, H.J. Reliable Spectroradiometry. Spectroradiometry Consulting, La Plata, MD (1997).

SLINEY, D.H. and WOLBARSHT, M.L. Safety with Lasers and Other Optical Sources. Plenum, New York (1980).

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
МКО 17.4–1987 Международный светотехнический словарь (МСС) – Объединенная публикация МЭК/МКО	–	*
МКО 53–1982 Методы определения характеристик радиометров и фотометров	–	*
МКО 63–1984 Спектрорадиометрические измерения источников света	–	*
МКО 105–1993 Спектрорадиометрия импульсных источников оптического излучения	–	*
ИСО Руководство по выражению неопределенности в измерениях, ИСО, Женева, 1995 г.	–	*

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в ГУП Республики Мордовия «НИИИС им. А.Н. Лодыгина».

УДК 621.32 ОКС 29.140.99

Ключевые слова: светобиологическая безопасность, ламповая система, сетчатка глаза, предел облучения, угол излучения

Подписано в печать 01.10.2014. Формат 60x84 1/8.

Усл. печ. л. 4,65. Тираж 39 экз. Зак. 3887.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»

123995 Москва, Гранатный пер., 4.

info@gostinfo.ru

gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru