МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ IEC 62471— 2013

ФОТОБИОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЛАМП И ЛАМПОВЫХ СИСТЕМ

(IEC 62471:2006, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Испытания и сертификация бытовой и промышленной продукции «БЕЛЛИС» (ОАО «БЕЛЛИС») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Госстандартом Республики Беларусь

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 14 ноября 2013 г. № 44-2013)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Комитет технического регулирования и метрологии Министерства торговли и интеграции Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт
Узбекистан	UZ	Узстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 декабря 2023 г. № 1721-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 62471—2013 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 сентября 2024 г.*

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту IEC 62471:2006 «Фотобиологическая безопасность ламп и ламповых систем» («Photobiological safety of lamps and lamp systems», IDT).

Международный стандарт разработан техническим комитетом по стандартизации IEC/TC 76 «Безопасность оптического излучения и лазерное оборудование» Международной электротехнической комиссии (IEC).

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

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

* Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 декабря 2023 г. № 1721-ст ГОСТ Р МЭК 62471—2013 отменен с 1 сентября 2024 г.

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация также будет опубликована на официальном интернет–сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

© IEC, 2006
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024



В Российской Федерации 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, определения, символы и сокращения 1
4 Предельные дозы облучения 6
5 Измерение параметров ламп и ламповых систем 15
6 Классификация ламп 23
Приложение А (справочное) Суммарный перечень биологических эффектов 26
Приложение В (справочное) Метод испытания 31
Приложение С (справочное) Анализ неопределенности 35
Приложение D (справочное) Общие ссылки 36
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам 37

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ФОТОБИОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЛАМП И ЛАМПОВЫХ СИСТЕМ

Photobiological safety of lamps and lamp systems

Дата введения — 2024—09—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает руководство по оценке фотобиологической безопасности ламп и ламповых систем, включая светильники. В частности, настоящий стандарт устанавливает предельные дозы облучения, методику измерения и схему классификации для оценки и контроля фотобиологической опасности от электрически питаемых некогерентных широкополосных источников оптического излучения, включая светодиоды, кроме лазеров, в диапазоне длин волн от 200 до 3000 нм.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты. [Для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)].

CIE 17.4:1987 International lighting vocabulary (ILV) — Joint publication IEC/CIE (Международный электротехнический словарь)

CIE 53:1982 Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers (Методы определения рабочих характеристик радиометров и фотометров)

CIE 63:1984 The spectroradiometric measurement of light sources (Спектрорадиометрические измерения источников света)

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

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

3 Термины, определения, символы и сокращения

В настоящем стандарте применяют следующие термины, символы и сокращения:

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

Единица измерения: Дж · $м^{-2}$.

Примечание — В этом определении подразумевается, что спектр действия берется для данного рассматриваемого актиничного эффекта, причем его максимальное значение равно единице. Когда приводится количественная характеристика, важно определить, какая величина — доза или актиничная доза — имеется в виду, так как единица измерения и в том, и в другом случае одинаковая.

3.2 **стягиваемый угол α** (angular subtense α): Угол, под которым мнимый источник виден глазу человека или в точке измерения. В настоящем стандарте под стягиваемым углом понимается полный, а не половинный угол.

Единица измерения: радиан (рад).

Издание официальное

Примечание — Стягиваемый угол α обычно изменяется входящими в состав проекционной оптики линзами и зеркалами, поэтому стягиваемый угол мнимого источника будет отличаться от стягиваемого угла физического источника.

3.3 **апертура, диафрагма** (aperture, aperture stop): Отверстие, которое определяет область, в которой измеряется среднее оптическое излучение. При измерении спектральной плотности потока излучения это отверстие обычно находится на входе маленькой сферы, расположенной напротив входной щели радиометра/спектрорадиометра.

3.4 **вредный фактор синего света** (blue light hazard; BLH): Возможность фотохимического вредного воздействия излучения с длиной волны преимущественно от 400 до 500 нм на сетчатку глаза. Это повреждающее воздействие преобладает над термическим при времени воздействия более 10 с.

3.5 **лампа непрерывного излучения** (continuous wave (CW) lamp): Лампа, работающая с длительной выходной мощностью более 0,25 с, т. е. неимпульсная лампа.

Примечание — В настоящем стандарте лампы общего назначения являются лампами непрерывного излучения.

3.6 **эритема** [erythema (см. ILV 845-06-15)]: Покраснение кожи, с ожогом или без, вследствие эффекта актиничности солнечной радиации или искусственного оптического излучения.

Примечание — Степень отложенной эритемы используется как руководство для дозирования, применяемое при ультрафиолетовой терапии.

3.7 **расстояние облучения** (exposure distance): Расстояние до ближайшей точки воздействия на человека лампой или ламповой системой. Для ламп, излучающих во всех направлениях, это расстояние измеряется от центра тела накала или дуги источника. Для ламп рефлекторного типа — это расстояние от наружного края линзы или плоскости, проходящей через край рефлектора при отсутствии линз.

Единица измерения: метр (м).

3.8 **предельная доза облучения** (exposure limit EL): Уровень облучения глаз или кожи, не приводящий к вредным биологическим эффектам.

3.9 **движение глаз** (eye movements): Нормальный глаз, сфокусированный на объекте, совершает незначительные случайные движения с частотой несколько герц. Быстрое движение глаза приводит к расширению изображения точечного источника на сетчатке, которое эквивалентно увеличению стягиваемого угла приблизительно на 0,011 рад. Кроме того, за промежуток времени более чем 100 с возможность фокусировки нарушается по причине дальнейшего рассеивания излучаемой мощности на сетчатке из-за движений глаза, например при чтении.

3.10 **поле обзора** (field of view): Телесный угол, в пределах которого детектор (например, радиометра/спектрорадиометра) подвергается облучению.

Единица измерения: стерадиан (ср).

Примечания

1 Поле обзора не следует путать со стягиваемым углом видимого источника α.

2 Плоский угол иногда используют для описания круговой симметрии телесного угла поля обзора.

3.11 **лампы общего назначения** (general lighting service (GLS) lamps): Лампы, предназначенные для освещения мест, где обычно находятся люди, или для осмотра людьми. Примерами могут быть лампы для освещения офисов, школ, домов, фабрик, проезжей части или автомобилей. В эту категорию не входят лампы, использующиеся для кино, процессов в полиграфии, искусственного загара, производственных процессов, медицинского лечения и прожекторов.

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

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

$$E_V = \frac{d\Phi_V}{dA}. \qquad (3.1)$$

Единица измерения: люкс (лк).

3.14 **инфракрасное (ИК) излучение** [infrared radiation (IR) (см. ILV 845-01-04)]: Оптическое излучение, у которого длины волн больше длин волн видимого излучения.

Примечание — Для инфракрасного излучения диапазон между 780 нм и 10^6 нм обычно подразделяется на поддиапазоны: ИК-А (780—1400 нм), ИК-В (1400—3000 нм) и ИК-С (3000—10^6 нм).

Инфракрасное излучение часто оценивается как отношение общего спектрального излучения, падающего на поверхность, к единице этой поверхности (энергетическая освещенность). Примеры применения инфракрасного излучения — промышленный нагрев, сушка, обжиг, фотопечать. Некоторые применения, такие как системы инфракрасного видения, включают в себя чувствительные детекторы с ограниченным диапазоном длин волн. В этих случаях важны спектральные характеристики источника и детектора.

3.15 **использование по назначению** (intended use): Использование продукта, процесса или услуги в соответствии со спецификациями, инструкциями и информацией, предоставленными поставщиком.

3.16 **энергетическая освещенность (в точке поверхности)** [irradiance (at a point of a surface) (см. ILV 845-01-37)]: Отношение потока излучения $d\Phi_e$, падающего на элемент поверхности, содержащий рассматриваемую точку, к площади dA этого элемента.

$$E=\frac{d\Phi_e}{dA}. \tag{3.2}$$

Единица измерения: Вт · $м^{-2}$.

3.17 **лампа** [lamp (см. ILV 845-07-03)]: Источник оптического излучения, обычно видимого.

Примечание — Настоящее определение иногда используется для определенных типов светильников. Такие типы светильников состоят из лампы с рассеивателем, рефлектором, сферической оболочкой, корпусом или другими комплектующими.

В настоящем стандарте настоящий термин относится к источникам с электрическим питанием, кроме лазеров, которые излучают в видимом диапазоне электромагнитного спектра. Устройства, генерирующие свет и имеющие встроенные компоненты для оптического управления, такие как линзы или рефлекторы, также рассматриваются как лампы. Примерами являются светодиоды с линзами, лампы с линзами, лампы рефлекторного типа, которые состоят из источника света с параболическим или эллиптическим рефлектором, заключенным в общий корпус.

3.18 **ламповая система** (lamp system): Любое изготовленное устройство или компоненты в сборе, которые содержат лампу либо предназначены для использования лампы.

3.19 **большой источник** (large source): Источник, размер которого на сетчатке настолько большой, что тепловой поток в радиальном направлении от центра изображения к окружающим биологическим тканям пренебрежительно мал по сравнению с тепловым потоком в аксиальном направлении.

3.20 **лазер** (laser): Источник когерентного оптического излучения, вызываемый вынужденным излучением.

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

3.22 **светоизлучающий диод** [light emitting diode (см. ILV 845-04-40)]: Диод с полупроводниковым p-n-переходом, эмитирующий оптическое излучение при его возбуждении электрическим током.

3.23 **люмен** (lumen [см. ILV 845-01-51]): Единица СИ светового потока: световой поток, излучаемый в единичном телесном угле (стерадиан) равномерным точечным источником с силой света 1 кандела, или световой поток пучка монохроматического излучения, у которого частота равна $540 \cdot 10^{12}$ Гц и поток излучения равен 1/683 Вт.

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

Примечание — Термины «светильник» и «ламповая система» часто считаются синонимами. В настоящем стандарте термин «светильник» применяется к приборам для распределения света для общего освещения, тогда как термин «ламповая система» предполагает использование ламп в целях, отличных от общего освещения.

3.25 **яркость** (в данном направлении, в данной точке реальной или воображаемой поверхности) L_V [luminance (in a given direction, at a given point of a real or imaginary surface) L_V (см. ILV 845-01-35)]: Величина, определяемая по следующей формуле:

$$L_V=\frac{d\Phi_V}{dA\cdot\cos\theta\cdot d\Omega}, \tag{3.3}$$

где $d\Phi_V$ — световой поток, переносимый в элементарном пучке лучей, проходящем через данную точку и распространяющемся в телесном угле $d\Omega$, содержащем данное направление;

dA — площадь сечения данного пучка, проходящего через данную точку;

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

Единица измерения: кд · м$^{-2}$.

3.26 **люкс** [lux (см. ILV 845-01-52)]: Единица освещенности СИ: освещенность, создаваемая световым потоком в 1 люмен, равномерно распределенным по поверхности, площадь которой равна 1 м^2.

3.27 **опасное расстояние для глаза** (ocular hazard distance): Расстояние от источника, в пределах которого энергетическая яркость или энергетическая освещенность при данной продолжительности воздействия превышает предельное значение.

Единица измерения: метр (м).

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

Примечание — Ультрафиолетовое излучение в диапазоне длин волн менее 180 нм (вакуумное УФ) сильно поглощается кислородом воздуха. В настоящем стандарте полоса длин волн оптического излучения ограничена длиной волны более 200 нм. Кроме того, глаз пропускает на сетчатку оптическое излучение от 380 до 1400 нм. Таким образом, этот диапазон длин волн требует особого рассмотрения при определении фотобиологической безопасности сетчатки.

3.29 **фотокератоконъюнктивит** (photokeratoconjunctivitis): Воспалительная реакция роговицы и конъюнктивы при облучении ультрафиолетовым (УФ) излучением. Наибольшее воздействие происходит при воздействии длин волн менее 320 нм. Пик воздействия приходится на спектральную составляющую приблизительно на 270 нм.

Примечание — Различное действие спектра для фотокератита и фотоконъюнктивита описано в публикациях CIE 106/2 и CIE 106/3-1993. Однако последние исследования придерживаются использования единого действия спектра на оба воздействия на глаз (CIE 106/1-1993).

3.30 **импульсная лампа** (pulsed lamp): Лампа, которая производит энергию в форме одиночного импульса или серии импульсов с продолжительностью каждого импульса менее 0,25 с. Лампа с продолжительной последовательностью импульсов или с модулированной энергией излучения, при котором пиковая излучаемая мощность более чем в десять раз больше, чем средняя излучаемая мощность.

Примечания

1 **Продолжительность** импульса лампы — это интервал времени между точками переднего и заднего фронтов импульса, в которых мощность равна половине своего значения.

2 В настоящем стандарте лампы общего назначения являются продолжительно работающими лампами (см. 3.5). Примерами импульсных ламп являются лампы для фотовспышек, фотокопировальных машин, светодиоды с импульсной модуляцией и стробоскопические источники света.

3.31 **энергетическая яркость** (в данном направлении, в данной точке реальной или воображаемой поверхности) $\boldsymbol{L}$ [radiance (in a given direction, at a given point of a real or imaginary surface) (L) (см. ILV 845-01-34)]: Величина, определяемая по следующей формуле:

$$L = \frac{d\Phi}{dA \cdot \cos\theta \cdot d\Omega}, \tag{3.4}$$

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

dA — площадь сечения данного пучка, проходящего через данную точку;

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

Единица измерения: Вт · м$^{-2}$ · ср$^{-1}$.

Примечание — Существует такое же определение интегрированной по времени энергетической яркости L_I, где в формуле для L поток излучения $d\Phi$ заменяется на излучаемую энергию dQ.

3.32 **энергия излучения** [radiant energy (см. ILV 845-01-27)]: Интеграл по времени от потока излучения Φ за данный отрезок времени Δt.

$$Q = \int_0^t \Phi \cdot dt. \tag{3.5}$$

Единица измерения: джоуль (Дж).

3.33 **энергетическая экспозиция** (в точке поверхности за данное время) [radiant exposure (at a point of a surface, for a given duration) (см. ILV 845-01-42)]: Отношение dQ, энергии излучения, падающей на элемент поверхности, содержащий данную точку, в течение данной длительности к площади dA этого элемента.

$$H=\frac{dQ}{dA}, \tag{3.6a}$$

Единица измерения: Дж · м$^{-2}$.

Также энергетическая экспозиция определяется как интеграл по времени от энергетической освещенности E в данной точке за данную длительность Δt.

$$H=\int_{\Delta t} E\cdot dt. \tag{3.6b}$$

3.34 **мощность излучения Ф** [radiant power Ф (см. ILV 845-01-24)]: Мощность, излучаемая, передаваемая или принимаемая в виде излучения. Мощность излучения часто называют потоком излучения.

Единица измерения: ватт (Вт).

3.35 **сетчатка** [retina (см. ILV 845-02-01)]: Светочувствительная оболочка на дне глаза, состоящая из собственно приемников света (колбочек и палочек) и нервных клеток, от которых возбуждение передается зрительному нерву.

3.36 **ожог сетчатки** (retina burn): Фотохимическое или тепловое повреждение сетчатки.

3.37 **опасный диапазон для сетчатки** (retina hazard region): Спектральный диапазон от 380 до 1400 нм (видимое излучение и ИК-А), в пределах которого оболочка нормального глаза передает оптическое излучение на сетчатку.

3.38 **опасное расстояние для кожи** (skin hazard distance): Расстояние, при котором энергетическая освещенность превышает предельное значение для 8-часового воздействия.

Единица измерения: м.

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

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

Единица измерения: [X] · нм$^{-1}$.

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

3.40 **спектральная энергетическая освещенность** (spectral irradiance): Отношение мощности излучения $d\Phi(\lambda)$ в интервале $d\lambda$ длин волн, падающих на элемент поверхности, к площади этого элемента поверхности dA и к интервалу длин волн $d\lambda$.

$$E_\lambda=\frac{d\Phi(\lambda)}{dA\cdot d\lambda}. \tag{3.8}$$

Единица измерения: Вт · м$^{-2}$ · нм$^{-1}$.

3.41 **спектральная энергетическая яркость** (в интервале $d\lambda$ длин волн, в данном направлении, в данной точке) L_λ (spectral radiance (for a wavelength interval $d\lambda$, in a given direction at a given point) L_λ): Отношение мощности излучения $d\Phi(\lambda)$, проходящей через точку и распространяющейся в пределах телесного угла $d\Omega$ в данном направлении, к произведению интервала $d\lambda$ длин волн и площади сечения этого пучка лучей на плоскость, перпендикулярную к этому направлению ($\cos\theta \cdot dA$), содержащую данную точку, и к телесному углу $d\Omega$.

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

Единица измерения: Вт · м$^{-2}$ · нм$^{-1}$ · ср$^{-1}$.

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

3.43 **ультрафиолетовое (УФ) излучение** [ultraviolet radiation (UV) (см. ILV 845-01-05)]: Оптическое излучение, у которого длина волны меньше длин волн видимого излучения.

Примечание — Для ультрафиолетового излучения диапазон между 100 и 400 нм обычно разбивается на поддиапазоны: УФ-А (315—400 нм), УФ-В (280—315 нм), УФ-С (100—280 нм).

Эти границы УФ-излучения не принимаются в качестве точных пределов, в особенности применительно к фотобиологическим эффектам.

В некоторых разделах фотобиологии диапазоны длин волн принимаются равными 200—290 нм, 290—320 нм, 320—400 нм. Иногда эти значения некорректно определяются как УФ-А, УФ-В, УФ-С соответственно. Ультрафиолетовое излучение с длиной волны менее 180 нм рассматривается как вакуумное. Излучение в пределах 380—400 нм также считается видимым, хотя по формальному определению оно находится в пределах длин волн ультрафиолетового излучения.

3.44 **видимое излучение** [visible radiation (см. ILV 845–01–03)]: Оптическое излучение, которое может непосредственно вызвать зрительное ощущение.

Примечание — Не существует точных пределов спектрального диапазона видимого излучения, так как они зависят от мощности достигающего сетчатку излучения и чувствительности наблюдателя. За нижний предел обычно принимается диапазон от 360 до 400 нм, а за верхний предел — диапазон между 760 и 830 нм.

3.45 **угол визирования** (visual angle): Угол, стягиваемый объектом или деталью из точки наблюдения. Единица измерения угла в системе СИ — радиан, хотя для измерения могут применяться также миллирадианы, градусы или минуты.

4 Предельные дозы облучения

4.1 Общие положения

Лица, находящиеся вблизи ламп и ламповых систем, не должны подвергаться облучению, уровень которого превышает нормы, установленные в следующих разделах. Предельные значения доз облучения установлены различными руководствами ICNIRP (Международной комиссии по защите от неионизирующих излучений), которые базируются на лучшей доступной информации от экспериментальных исследований (см. перечень публикаций в приложении А).

Предельные дозы облучения представляют собой условия, при которых почти каждый человек может многократно подвергаться облучению без ущерба для здоровья. Однако они не применимы к людям с аномальной фоточувствительностью или к людям, которые дополнительно подвергаются воздействию веществ, повышающих фоточувствительность и делающих их более восприимчивыми к вредному воздействию оптического излучения. Вредные условия вследствие оптического излучения оказывают наибольшее воздействие на здоровье описанных выше типов людей, чем на людей, у которых нет аномальной фоточувствительности или которые не находятся под действием веществ, вызывающих повышенную чувствительность к излучению. Восприимчивость таких фоточувствительных личностей сильно варьируется, и невозможно установить предельную дозу облучения для этой части населения.

Предельные дозы облучения в настоящем стандарте применяются к источникам непрерывного излучения при длительности воздействия не менее 0,01 мс и не более 8 ч и используются в качестве руководства для контроля облучения. Эти значения не рассматриваются как точная граница между опасным и безопасным уровнями.

Для определения предельной дозы облучения глаз от широкополосного видимого излучения и излучения ИК-А необходимо знать спектральную энергетическую яркость источника L_λ и общую энергетическую освещенность E, измеренные при определенном положении глаз облучаемого человека. Такие детальные спектральные данные источника света обычно требуются, только если яркость источника превышает 10^4 кд · м$^{-2}$. При яркости источника менее этого значения предполагаемая предельная доза не будет превышаться. Предельные дозы облучения приведены в 4.3.

4.2 Специфические факторы, влияющие на определение и применение предельных доз воздействия на сетчатку

4.2.1 Диаметр зрачка

Поток излучения, попадающий в глаз и поглощаемый сетчаткой (от 380 до 1400 нм), пропорционален площади зрачка. Известно, что диаметр зрачка изменяется от 7 мм при очень низкой яркости (< 0,01 кд · м$^{-2}$) до приблизительно 2 мм при значении яркости порядка 10 000 кд · м$^{-2}$. За слабое видимое воздействие принимается воздействие с максимальной яркостью (усредненной в пределах кругового поля обзора, стягивающего угол в 0,011 рад) менее 10 кд · м$^{-2}$. При данной яркости диаметры зрачков каждого конкретного человека значительно отличаются. Поэтому при установлении предельных доз облучения диаметр зрачка принимается:

- если яркость источника достаточно высока (> 10 кд/м$^{-2}$) и время воздействия излучения более 0,25 с, т. е. когда имеет место вредный фактор синего света или термическая опасность для сетчатки, — 3 мм (площадь 7 мм^2);
- если яркость источника низкая, т. е. инфракрасное излучение с малым количеством или при отсутствии видимого излучения, — 7 мм (площадь 38,5 мм^2). Диаметр зрачка 7 мм принимается также для оценки фотобиологической опасности от импульсных источников и/или при времени воздействия менее 0,25 с;
- в случаях, когда используется источник ближнего ИК-излучения с высоким уровнем внешнего света, диаметр зрачка принимается равным 3 мм и предельная доза может быть приведена к большим значениям при помощи коэффициента, равного квадрату отношения диаметров зрачков. При этом предельная доза может быть увеличена на коэффициент $(7/3)^2 = 5,5$.

4.2.2 Стягиваемый угол источника и измерение поля обзора

Для излучения в пределах длин волн от 380 до 1400 нм площадь облучения сетчатки — это важный элемент для определения предельных доз облучения для вредного фактора синего света и термической опасности для сетчатки. Поскольку роговица и хрусталик глаза фокусирует изображение источника на сетчатку, лучший метод описания облучаемой площади — связать эту площадь со стягиваемым углом видимого источника α. В результате физического ограничения глаза наименьший объект, изображение которого может быть сформировано на сетчатке неподвижного глаза, ограничен минимальным значением α_{min} даже для точечного источника. В настоящем стандарте значение α_{min} равно 0,0017 рад. При измерении излучения от видимых точек источников как импульсного, так и непрерывно воздействующего излучения высокой интенсивности, которые связаны с предельной дозой термической опасности для сетчатки за 0,25 с (время мигательного рефлекса), в качестве измерительного поля обзора следует использовать угол в 0,0017 рад.

За время более чем 0,25 с быстрые движения глаза начинают размывать изображение источника на больший угол, определенный в настоящем стандарте как α_{eff}. За время воздействия в 10 с размытое изображение точечного источника занимает на сетчатке площадь, эквивалентную углу приблизительно 0,011 рад. Соответственно, эффективный стягиваемый угол α_{eff}, использующийся при измерении энергетической яркости источника излучения применительно к термической опасности для сетчатки и вредному фактору синего света при времени воздействия в 10 с, принимается равным 0,011 рад. При продолжительности воздействия от 0,25 до 10 с α_{eff} увеличивается от α_{min} до 0,011 рад как квадратный корень от времени, т. е. α_{eff} пропорционально $\alpha_{min} \cdot t0,5$, т. е. $\alpha_{eff} = \alpha_{min} \cdot \sqrt{(t/0,25)}$. Данная временна́я зависимость должна применяться с осторожностью, так как недостаточно данных для ее подтверждения. Обычно нет необходимости использовать эту временную зависимость, так как источники излучения оцениваются обычно при времени 0,25 или 10 с, что определяется исходя из рассмотрения критериев риска, описанных в разделе 6.

Дополнительно для вредного фактора синего света за время воздействия более 100 с облучаемая от малого источника площадь сетчатки будет и дальше расширяться из-за регулярных движений глаз, за исключением случаев, когда глаз зафиксирован в медицинских целях, например при офтальмологических операциях. При измерении энергетической яркости источников излучения, которая сравнима с предельными дозами для фактора синего света, эффективный стягиваемый угол α_{eff} принимается равным 0,011 рад для времен меньше 100 с. За время более чем 10 000 с α_{eff} принимается равным 0,1 рад. Аналогично считается, что угол α_{eff} растет как квадратный корень от времени в пределах от 100 до 10 000 с, т. е. $\alpha_{eff} = 0,011 \cdot \sqrt{(t/100)}$ (примечание: формула приблизительная). Максимальное значение стягиваемого угла $\alpha_{max} = 0,1$ рад для всех типов опасностей для сетчатки, указанных в настоящем стандарте. Таким образом, если время более 10 000 с, α_{eff} эквивалентен α_{max}.

Для видимых источников при стягиваемом угле больше α_{max} предельная доза опасности для сетчатки не зависит от размера источника.

Стягиваемый угол источника продолговатой формы определяется по среднему арифметическому максимального и минимального углового размера источника. К примеру, размер трубчатого источника длиной 20 мм и диаметром 3 мм при наблюдении с расстояния r = 200 мм в направлении, перпендикулярном оси лампы, будет определяться исходя из среднего значения Z.

$$Z = (20 + 3)/2 = 11{,}5 \text{ мм}.$$

Таким образом:

$$\alpha = Z/r = 11{,}5/200 = 0{,}058 \text{ рад}.$$

При вычислении среднего арифметического любой угловой размер более α_{max} должен быть ограничен значением α_{max} и любой угловой размер менее α_{min} должен быть ограничен значением α_{min}. Таким образом, если бы в указанном выше примере линейный размер был больше 20 мм, то для расчета эффективного размера источника использовалось бы значение 20 мм.

4.3 Дозы опасного излучения

4.3.1 Опасная доза актиничного УФ-излучения для кожи и глаз

Пределы для ультрафиолетового излучения, попадающего на незащищенные кожу или глаз, применяются в случае облучения в течение любого 8-часового периода. Воздействия продолжительностью более 8 ч могут не рассматриваться. Предельное значение для эффективной энергетической экспозиции составляет 30 Дж · м$^{-2}$.

Для защиты от вредного воздействия на глаза или кожу ультрафиолетового излучения от широкополосного источника эффективная интегральная спектральная энергетическая освещенность E_s не должна превышать уровень, определенный как:

$$E_s \cdot t = \sum_{200}^{400} \sum_{t} E_\lambda(\lambda,t) \cdot S_{UV}(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta\lambda \le 30 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}, \quad (4.1)$$

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

$S_{UV}(\lambda)$ — спектральная весовая функция актиничной ультрафиолетовой опасности;

$\Delta\lambda$ — ширина полосы, нм;

t — время воздействия, с.

Спектральная весовая функция актиничной ультрафиолетовой опасности $S_{UV}(\lambda)$ показана в графической форме на рисунке 4.1. Так как диапазон значений функции $S_{UV}(\lambda)$ занимает несколько порядков, он показан в логарифмическом масштабе. В дополнение к рисунку в таблице 4.1 указаны значения $S_{UV}(\lambda)$.

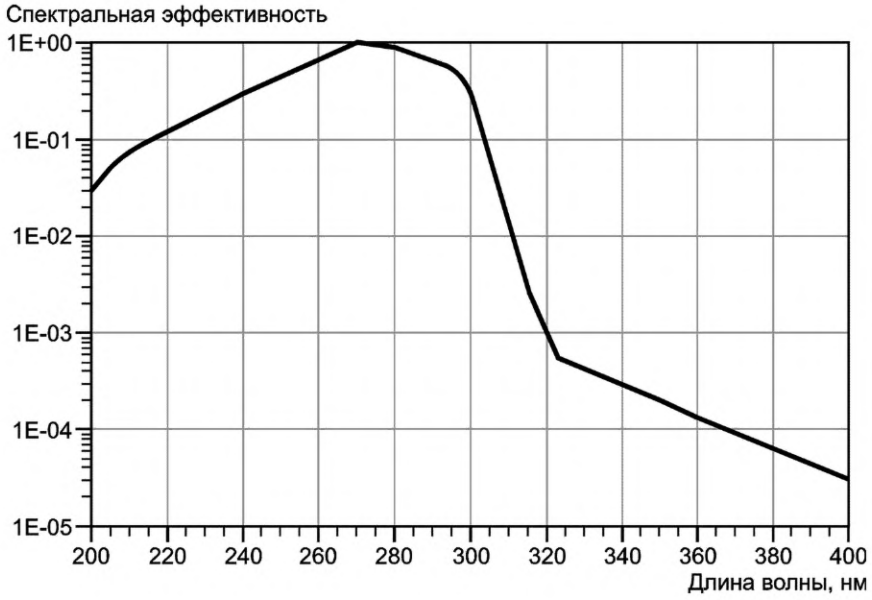


Рисунок 4.1 — Спектральная весовая функция актиничной ультрафиолетовой опасности $S_{UV}(\lambda)$

Таблица 4.1 — Спектральная весовая функция актиничной ультрафиолетовой опасности

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	295	0,540
205	0,051	297*	0,460
210	0,075	300	0,300
215	0,095	303*	0,120
220	0,120	305	0,060
225	0,150	308	0,026
230	0,190	310	0,015
235	0,240	313*	0,006
240	0,300	315	0,003
245	0,360	316	0,002 4
250	0,430	317	0,002 0
254*	0,500	318	0,001 6
255	0,520	319	0,001 2
260	0,650	320	0,001 0
265	0,810	322	0,000 67
270	1,000	323	0,000 54
275	0,960	325	0,000 50
280*	0,880	328	0,000 44
285	0,770	330	0,000 41
290	0,640	333*	0,000 37

Окончание таблицы 4.1

Длина волны[1)] λ, нм	Функция УФ-опасности $S_{UV}(\lambda)$	Длина волны[1)] λ, нм	Функция УФ-опасности $S_{UV}(\lambda)$
335	0,000 34	370	0,000 093
340	0,000 28	375	0,000 077
345	0,000 24	380	0,000 064
350	0,000 20	385	0,000 053
355	0,000 16	390	0,000 044
360	0,000 13	395	0,000 036
365*	0,000 11	400	0,000 030

[1)] Выбранные длины волн являются репрезентативными: другие значения могут быть рассчитаны логарифмической интерполяцией на промежуточных длинах волн.

* Линии излучения в спектре ртутного разряда.

Допустимое время воздействия ультрафиолетового излучения t_{max}, с, попадающего на незащищенные кожу или глаз, рассчитывается по формуле

$$t_{max} = 30/E_s, \tag{4.2}$$

где t_{max} — допустимое время воздействия, с;

E_s — эффективная ультрафиолетовая энергетическая освещенность, Вт · м$^{-2}$.

4.3.2 Опасная для глаз доза ближнего ультрафиолетового излучения

В спектральной области от 315 до 400 нм (УФ-А) общая энергетическая экспозиция для глаз не должна превышать 10 000 Дж · м$^{-2}$ при времени воздействия менее 1000 с. При времени воздействия более 1000 с (примерно 16 мин) энергетическая освещенность E_{UVA} для незащищенного глаза не должна превышать 10 Вт · м$^{-2}$.

Это может быть выражено следующим образом:

$$E_{UVA} \cdot t = \sum_{315}^{400} \sum_{t} E_\lambda(\lambda,t) \cdot \Delta t \cdot \Delta\lambda \le 10\ 000\ \text{Дж} \cdot \text{м}^{-2}\ (t < 10\ 000\ \text{с}); \tag{4.3a}$$

$$E_{UVA} \le 10\ \ \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}\ (t \ge 10\ 000\ \text{с}), \tag{4.3b}$$

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

$\Delta\lambda$ — ширина полосы, нм;

t — длительность воздействия, с.

Допустимое время воздействия ультрафиолетового излучения, попадающего на незащищенные глаза, за время менее чем 1000 с рассчитывается следующим образом:

$$t_{max} \le \frac{10\ 000}{E_{UVA}}\text{с}. \tag{4.4}$$

Примечание — Для воздействующего на глаза излучения УФ-А-области ICNIRP в 1989 году изменила указанные выше предельные значения, расширив время, в течение которого может быть получена энергетическая экспозиция в 10 000 Дж · м$^{-2}$, с 1000 до 10 000 с (2,6 ч) и для 1 Вт · м$^{-2}$ — с 10 000 до 30 000 с (8 ч).

4.3.3 Опасная для сетчатки доза излучения синего света

Для защиты сетчатки от фотохимического повреждения, вызванного длительным воздействием синего света, интегральная спектральная энергетическая яркость, взвешенная с функцией опасности синего света $B(\lambda)$, т. е. взвешенная энергетическая яркость L_B, не должна превышать уровень, определенный как:

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

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

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

$B(\lambda)$ — спектральная весовая функция опасности синего света;

$\Delta\lambda$ — ширина полосы, нм;

t — время воздействия, с.

Спектральная весовая функция опасности синего света $B(\lambda)$ показана в графической форме на рисунке 4.2 вместе со спектральной весовой функцией термической опасности для сетчатки $R(\lambda)$. Так как диапазон значений этих функций занимает несколько порядков, значения по оси ординат, как и на рисунке 4.1, представлены в логарифмическом масштабе. В дополнение к рисунку в таблице 4.2 указаны значения функций $B(\lambda)$ и $R(\lambda)$.

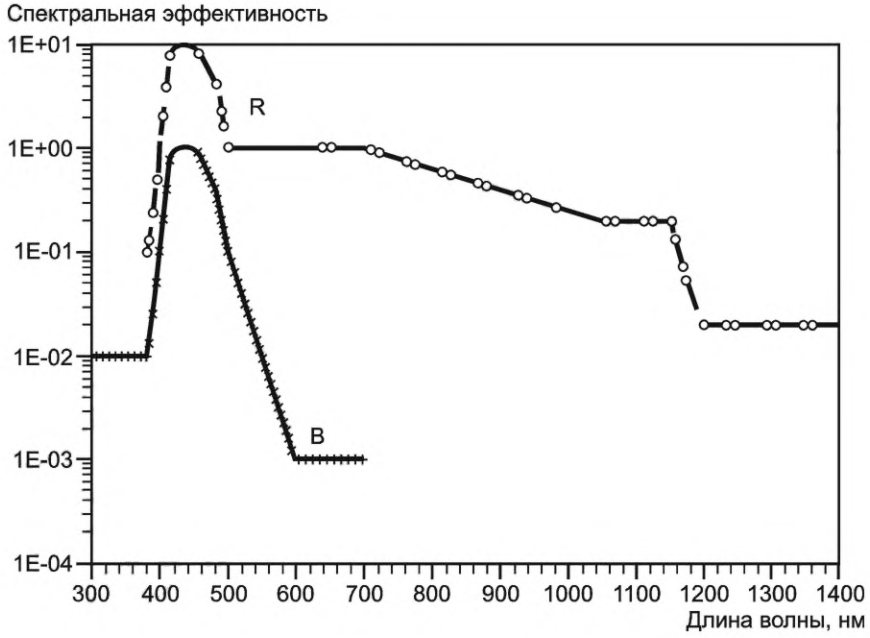


Рисунок 4.2 — Спектральные весовые функции опасности для сетчатки $B(\lambda)$ и $R(\lambda)$

Таблица 4.2 — Спектральные весовые функции для оценки опасности для сетчатки от широкополосных оптических источников

Длина волны λ, нм	Функция опасности синего света $B(\lambda)$	Функция ожоговой опасности $R(\lambda)$
300	0,01	
305	0,01	
310	0,01	
315	0,01	
320	0,01	
325	0,01	

Продолжение таблицы 4.2

Длина волны λ, нм	Функция опасности синего света $B(\lambda)$	Функция ожоговой опасности $R(\lambda)$
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
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	1,00	10,0
440	1,00	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

Окончание таблицы 4.2

Длина волны λ, нм	Функция опасности синего света $B(\lambda)$	Функция ожоговой опасности $R(\lambda)$
600—700	0,001	1,0
700—1050		$10^{[(700-\lambda)/500]}$
1050—1150		0,2
1150—1200		$0,2 \cdot 10^{0,02(1150-\lambda)}$
1200—1400		0,02

Для взвешенной энергетической яркости L_B источника излучения, превышающей 100 Вт · м$^{-2}$ · ср$^{-1}$, максимально допустимое время воздействия t_{max}, с, рассчитывается по формуле

$$t_{max} = \frac{10^6}{L_B} \left(t \le 10^4 \text{ с}\right), \tag{4.6}$$

где t_{max} — допустимое время воздействия, с

L_B — взвешенная энергетическая яркость синего света.

Примечания

1 Спектральная энергетическая яркость должна быть усреднена в пределах правильного кругового конуса поля обзора α_{eff}, описанного в 4.2.2.

2 В случае, когда источник состоит из нескольких элементов, не соединенных вместе, этот критерий применяется к каждому элементу. Также он применяется к источнику в целом, если используется среднее значение излучения от всего источника.

4.3.4 Опасная для сетчатки доза излучения синего света от малого источника

Если стягиваемый угол источника света меньше, чем 0,011 рад, пределы, указанные в 4.3.3, приведут к более простому уравнению, базирующемуся на спектральной энергетической освещенности, а не на спектральной энергетической яркости. Применяя формулу 5.4, можно рассчитать, что соотношение между L и E для стягиваемого угла 0,011 рад составляет приблизительно 10^4. Таким образом, спектральная энергетическая освещенность E_λ, взвешенная со спектральной весовой функцией опасности синего света $B(\lambda)$ (см. таблицу 4.2), не должна превышать предел, определенный как:

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

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

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

$B(\lambda)$ — спектральная весовая функция опасности синего света;

$\Delta\lambda$ — ширина полосы, нм;

t — время воздействия, с.

Для источника, который создает взвешенную энергетическую освещенность E_B, превышающую 0,01 Вт · м$^{-2}$, максимально допустимое время воздействия t_{max}, с, рассчитывается по формуле

$$t_{max} = \frac{100}{E_B} \left(t \le 100 \text{ с}\right), \tag{4.8}$$

где t_{max} — максимальное допустимое время воздействия, с;

E_B — взвешенная энергетическая освещенность синего света.

Примечания

1 Следует отметить, что время воздействия, при котором E_B становится независимым от времени, — 100 с, в отличие от 10 000 с для L_B в формуле (4.6). Причина этого заключается в том, что для времени воздействия более 100 с принимается, что диаметр облучаемой площади сетчатки увеличивается как квадратный корень от времени. Следовательно, эффективная энергетическая освещенность сетчатки уменьшается и вклад в облучение сетчатки энергетической экспозиции становится независимым от времени при продолжительности воздействия от 100 с до 10 000 с в результате предполагаемых регулярных движений глаза. Эта зависимость показана на графике E_B, рисунок 5.4.

2 Для офтальмологических приборов или для зафиксированного при операции глаза, при которых движения глаза минимальны, время воздействия увеличивается до 10 000 с. Это означает, что в этих случаях взвешенная энергетическая освещенность синего света должна быть не более 10^{-2} Вт · м$^{-2}$, т. е. в 100 раз меньше указанной в формуле 4.7b).

4.3.5 Термически опасная для сетчатки доза излучения

Для защиты сетчатки от термического повреждения интегральная спектральная энергетическая яркость L_λ, взвешенная со спектральной весовой функцией термической опасности для сетчатки $R(\lambda)$ (из рисунка 4.2 и таблицы 4.2), т. е. термически опасная взвешенная энергетическая яркость источника излучения не должна превышать уровень, определенный как:

$$L_R = \sum_{380}^{1400} L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \le \frac{50\ 000}{\alpha \cdot t^{0,25}} \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1} \ (10 \text{ мкс} \le t \le 10 \text{ с}); \quad (4.9)$$

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

$R(\lambda)$ — спектральная весовая функция термической опасности для сетчатки;

t — продолжительность наблюдения (или продолжительность импульса, если лампа импульсная), с;

$\Delta\lambda$ — ширина полосы, нм;

α — стягиваемый источником угол, рад.

Примечания

1 L_λ должна быть усреднена в пределах правильного кругового конуса поля обзора не менее 0,0017 рад и не более 0,1 рад, включая угол.

2 В случае, когда источник состоит из нескольких элементов, не соединенных вместе, этот критерий применяется к каждому элементу. Также он применяется к источнику в целом, если используется среднее значение излучения от полного источника.

4.3.6 Термически опасная для сетчатки доза излучения — слабый визуальный стимул

Для инфракрасной нагревательной лампы или любого источника ближней ИК-области, у которого слабый визуальный стимул недостаточен для активизации ответной реакции, энергетическая яркость L_{IR} в области ИК-А (от 780 нм до 1400 нм), воздействующая на глаз в течение времени более 10 с, должна быть ограничена значением:

$$L_{IR} = \sum_{780}^{1400} L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \le \frac{6000}{\alpha} \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1} \ (t > 10 \text{ с}), \quad (4.10)$$

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

$R(\lambda)$ — спектральная весовая функция термической опасности для сетчатки;

$\Delta\lambda$ — ширина полосы, нм;

t — время воздействия, с;

α — стягиваемый источником угол, рад.

Под слабым визуальным стимулом в настоящем стандарте понимается стимул, максимальная яркость которого (усредненная в пределах кругового поля обзора в 0,011 рад) меньше 10 кд · м$^{-2}$.

Примечания

1 L_λ должна быть усреднена в пределах прямого кругового конуса поля обзора не менее 0,011 рад и не более 0,1 рад.

2 Предел, рассчитанный по формулам (4.11a) и (4.11b), основан на том, что диаметр зрачка составляет 7 мм исходя из слабой яркости источника излучения. В случаях высокой яркости общего освещения диаметр зрачка принимается равным 3 мм. Это означает, что величина предельно допустимой дозы может быть увеличена с учетом коэффициента, равного квадрату отношения диаметров зрачка (коэффициент — 5,5). Таким образом, предельно допустимая доза может быть увеличена до 33 000/α Вт · м$^{-2}$ · ср$^{-1}$ (см. 4.2.1).

4.3.7 Опасная для глаз доза инфракрасного излучения

Для предотвращения теплового повреждения роговицы и возможных замедленных эффектов на хрусталик глаза (катарактогенез) энергетическая освещенность от воздействующего на глаза инфракрасного излучения E_{IR} в диапазоне длин волн от 780 до 3000 нм при времени воздействия меньше чем 1000 с не должна превышать:

$$E_{IR} = \sum_{780}^{3000} E_\lambda \cdot \Delta\lambda \le 18\,000 \cdot t^{-0,75}\ \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}\ (t \le 1000\ \text{с}). \qquad (4.11a)$$

Для времени воздействия больше чем 1000 с этот предел определяется:

$$E_{IR} = \sum_{780}^{3000} E_\lambda \cdot \Delta\lambda \le 100\ \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}\ (t > 1000\ \text{с}), \qquad (4.11b)$$

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

$\Delta\lambda$ — ширина полосы, нм;

t — время воздействия, с.

Примечания

1 В холодной окружающей среде пределы для долговременного воздействия могут быть увеличены до 400 Вт · м$^{-2}$ при 0 °С и 300 В · м$^{-2}$ при 10 °С, если источники инфракрасного излучения используются для нагрева.

2 Вклад от ИК-С уже включен в эти пределы для всех источников света на основе нити накаливания.

4.3.8 Опасная для кожи доза термического воздействия

Значение энергетической экспозиции для видимой и инфракрасной областей (от 380 до 3000 нм) должно ограничиваться значением:

$$E_H \cdot t = \sum_{380}^{3000} \sum_{t} E_\lambda(\lambda,t) \cdot \Delta t \cdot \Delta\lambda \le 20\,000 \cdot t^{0,25}\ \text{Дж} \cdot \text{м}^{-2}\ (t \le 10\ \text{с}), \qquad (4.12)$$

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

$\Delta\lambda$ — ширина полосы, нм;

t — время воздействия, с.

Примечание — Этот предел основан на повреждении кожи из-за увеличения температуры тканей и применим только для малой площади облучения. Предельные дозы для времен более 10 с не приводятся. Сильная боль возникает при температуре кожи ниже достаточной для ее повреждения, и человек с нормальной реакцией будет испытывать дискомфорт. Большая площадь облучения и тепловой стресс не оцениваются, так как при этом надо анализировать теплообмен между человеком и окружающей средой, физическую активность и различные другие факторы, которые не могут быть применены в стандарте на безопасность продукции, но должны быть оценены согласно критерию теплового стресса внешней среды.

5 Измерение параметров ламп и ламповых систем

Измерение параметров оптического излучения для расчета предельных значений фотобиологической безопасности является важной задачей для радиометристов. Типичный спектр функций фотобиологической опасности, например спектральной весовой функции актиничной ультрафиолетовой опасности $S_{UV}(\lambda)$, имеет быстроизменяющиеся составляющие при малых изменениях длины волны. К тому же при передаче излучения ламповых источников через стеклянные оболочки имеет место быстрое увеличение выходной мощности при увеличении длины волны в области, где функция $S_{UV}(\lambda)$ быстро убывает. Поэтому необходимо всесторонне оценить погрешность взвешенных результатов.

В то время как измерения энергетической освещенности являются повседневными, измерения энергетической яркости не так регулярны и обычно сложны в реализации, особенно в случае оценки фотобиологических угроз, так как при этом необходимо учитывать поле обзора, которое изменяется в зависимости от вида оцениваемой угрозы.

Поэтому для отнесения различных ламп и ламповых систем к группе риска необходимо проводить всестороннее исследование условий и процедур измерения параметров излучения.

Следует отметить, что измерительные процедуры, описанные в настоящем стандарте, разработаны для оценки биофизических явлений. В частности, они могут касаться усреднения по апертуре или полю обзора, что было бы неуместным для общих радиометрических измерений. Однако опасности могут быть преувеличены, если сравнивать неусредненные результаты измерений с соответствующими предельными значениями.

В конце настоящего раздела представлены суммарные данные в графической и табличной формах для лучшего сравнения различных предельных доз, определенных в 4.3, включая влияние поля обзора. На рисунке 5.4 и в таблице 5.4 представлены суммарные данные, отражающие максимальные значения энергетической освещенности, основанные на значениях предельных доз как функций от времени воздействия. На рисунке 5.5 и в таблице 5.5 представлены суммарные данные, отражающие максимальные значения энергетической яркости, основанные на значениях предельных доз (для сетчатки) как функций от времени воздействия.

Примечание — В разделе 1 верхний предел диапазона длин волн для оценки любого вида опасности ограничен длиной волны 3000 нм. Часто сложно провести измерения спектральной энергетической освещенности или энергетической яркости с использованием монохроматора в ИК-диапазоне, особенно в диапазоне от 2500 до 3000 нм, из-за недостаточной чувствительности и трудности получения калиброванных источников излучения. Тем не менее для длин волн свыше 1400 нм весовая функция не определена. Таким образом, широкополосные измерения в диапазоне от 1400 до 3000 нм подходят для оценки инфракрасной опасности для глаз и кожи.

5.1 Условия измерений

Условия измерений должны быть приведены как часть оценки предельных доз облучения и классификации риска.

5.1.1 Отжиг ламп (выдержка)

Для установления стабильных выходных характеристик в процессе измерения и обеспечения воспроизводимости результатов лампы должны быть выдержаны в течение определенного периода времени. В первоначальный период работы выходные характеристики ламп будут изменяться, так как компоненты приходят к почти равновесному состоянию. Если измерения будут выполнены на невыдержанной лампе, изменения в процессе измерений и между отдельными измерениями могут оказаться значительными. Так как выходные характеристики ламп обычно ухудшаются в процессе срока службы, период выдержки должен быть коротким для надежной оценки опасности.

Выдержка ламп должна проводиться, как указано в соответствующем стандарте IEC на лампу.

Примечание — Продолжительность выдержки разрядных ламп, т. е. люминесцентных или газоразрядных, высокой интенсивности обычно составляет 100 ч, для ламп накаливания эта продолжительность составляет 1 % от номинального срока службы. Однако эти продолжительности могут различаться для специальных ламп, например ламп для соляриев.

5.1.2 Окружающая среда при испытании

Точные измерения характеристик источников света требуют контроля параметров окружающей среды. Факторы окружающей среды влияют на работу источников света и измерительного оборудования. Кроме того, образование озона в области измерений может снизить точность измерений и представляет опасность. Особые условия испытаний указаны в соответствующих стандартах IEC на лампы или, при отсутствии таких стандартов, в соответствующих государственных стандартах или рекомендациях изготовителей.

Температура окружающей среды оказывает существенное влияние на выходные характеристики некоторых источников света, например люминесцентных ламп. Температура окружающей среды, при которой проводятся испытания, должна быть установлена в соответствии со стандартом IEC на соответствующий тип ламп.

Характеристики некоторых источников света также существенно зависят от сквозняков. Движение воздуха по поверхности испытуемой лампы, за исключением естественного конвекционного движения при работе самой лампы, должно быть максимально уменьшено с учетом факторов безопасности

(образование озона). Если испытуемая система обеспечивает блокировку, сдерживающую циркуляцию воздуха, измерения проводятся при циркуляции.

5.1.3 Постороннее излучение

Должна быть проведена тщательная проверка того, что побочные источники излучения и отражения не вносят существенные изменения в результаты измерений. Для уменьшения побочного излучения часто используются экраны. Следует отметить, что визуально темные поверхности могут отражать ультрафиолетовое и инфракрасное излучения. Кроме того, при инфракрасных измерениях должно учитываться излучение от нагретых экранов вследствие большого входного угла, стягиваемого экраном.

5.1.4 Работа лампы

Работа испытуемой лампы регламентируется соответствующим стандартом IEC на лампу. Если стандарт на данный тип ламп отсутствует, то должны использоваться рекомендации изготовителя.

5.1.5 Работа ламповой системы

Источник питания для работы с испытуемой лампой должен иметь характеристики, указанные в соответствующем стандарте IEC. Если не существует стандарта на пускорегулирующий аппарат (источник питания), то должны использоваться рекомендации изготовителя ламповой системы.

5.2 Метод измерения

5.2.1 Измерение энергетической освещенности

Эта методика применяется как к широкополосному, так и к спектральному измерению энергетической освещенности. Идеальный прибор для измерения содержит плоский круглый детектор диаметром *D*, обеспечивающий достаточное отношение «сигнал — шум», который:

- принимает излучение в пределах правильного кругового конуса с осевой линией, перпендикулярной поверхности детектора;
- имеет угловую пространственную чувствительность, изменяющуюся как косинус угла от нормали к поверхности детектора;
- имеет постоянную спектральную чувствительность в пределах определенного диапазона длин волн от λ_1 до λ_2.

В настоящем стандарте минимальная входная апертура должна быть 7 мм, а максимальная — 50 мм. Плоская круглая апертура диаметром 25 мм — общая для малых интегрирующих сфер, рекомендованных выше в качестве входных для монохроматора. Апертура диаметром 25 мм рекомендуется для источников с однородной пространственной диаграммой оптического излучения. Для источников, которые не обеспечивают однородную пространственную энергетическую освещенность, т. е. таких как рефлекторные лампы с узким пучком лучей, пиковое значение энергетической освещенности (интенсивность) может быть существенно выше, чем то, которое получается при измерении с использованием незаполненной апертуры диаметром 25 мм. В таких случаях апертура детектора должна быть ограничена до 7 мм.

На рисунке 5.1 схематически показана основная концепция измерения энергетической освещенности или спектральной энергетической освещенности, включая, если необходимо, апертуру для ограничения поля обзора до половины угла A, при некотором расстоянии от датчика, большем, чем диаметр детектора.

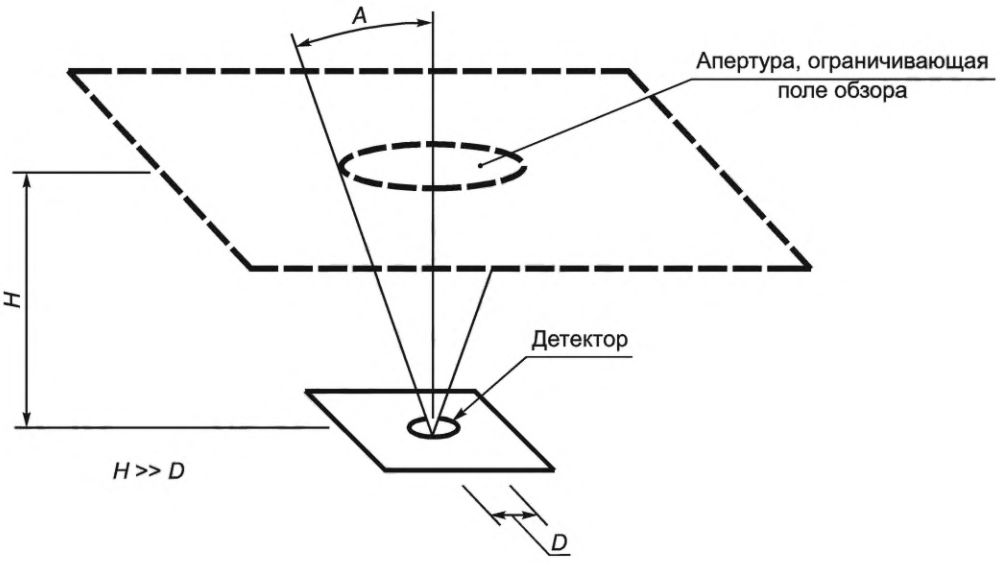


Рисунок 5.1 — Схема измерения энергетической освещенности

Измерения должны быть выполнены при положении пучка лучей, обеспечивающем максимальные показания. Измерительный прибор должен быть откалиброван в абсолютных значениях мощности падающего излучения на единицу облучаемой площади.

Примечания

1 Исходя из практических соображений, изменение входной апертуры требует проведения значительной дополнительной работы по повторной калибровке радиометра или спектрорадиометра. Если известна зависимость энергетической освещенности от расстояния, одним из методов достижения минимально необходимой апертуры является перемещение детектора от (при использовании диаметра 25 мм) источника на измерительное расстояние, равноценное расстоянию, при котором конус (апертурой 7 мм) на расстоянии 200 мм будет заполнять апертуру в 25 мм, т. е. на расстояние, примерно в 3,5 раза превышающее стандартное расчетное расстояние.

2 Измеренная энергетическая освещенность не должна усредняться по апертуре меньшей, чем указано, так как это может привести к завышению опасности. Минимальный размер усредняющей апертуры зависит от физиологических и поведенческих факторов, которые имеют место при усреднении падающего излучения на определенную поверхность.

3 По некоторым причинам, включая физиологию глаза, все предельные дозы для ультрафиолетового излучения, рассмотренные в 4.3.1 и 4.3.2, применяются к источникам, стягивающим угол менее чем 80° (1,4 рад), т. е. к источникам в пределах 40° от нормали к облучаемой поверхности. Таким образом, излучение от источника, стягивающего больший угол, необходимо измерять только в пределах угла в 80°.

Измерение энергетической освещенности применяется к следующим видам опасностей, описанным в 4.3:

- от 315 до 400 нм — опасная для глаз доза излучения E_{UVA};
- опасная доза инфракрасного излучения E_{IR};
- опасная для кожи доза термического воздействия E_H.

Измерение спектральной энергетической освещенности применяется к следующим видам опасностей, также описанным в 4.3:

- от 200 до 400 нм — опасная для глаз и кожи доза излучения E_S;
- опасная для сетчатки доза излучения синего света от малого источника E_B.

5.2.2 Измерение энергетической яркости

5.2.2.1 Стандартный метод

Эта методика применяется как к широкополосному, так и к спектральному измерению энергетической яркости. Измерение энергетической яркости проводится такой оптической системой, которая (см. рисунок 5.2):

- создает изображение источника излучения на детекторе;
- имеет круглую полевую диафрагму для установки заданного углового фактора для усреднения поля обзора α_{eff};

- имеет круглый входной зрачок (апертурную диафрагму), который действует как усредняющая апертура при измерении энергетической освещенности и соответствует требованиям, установленным в 5.2.1. Для малых углов взаимосвязь между диаметром детектора и фокусным расстоянием формирователя изображения будет следующей: $d = \alpha_{eff} \cdot H$.

Как и при измерениях энергетической освещенности, минимальный диаметр апертурной диафрагмы D, как показано на рисунке 5.2, соответствует диаметру зрачка 7 мм для импульсных источников и принимается как биофизическая усредняющая апертура для непрерывно работающих источников, где зрачок может быть меньше, но движения глаз и головы допускают такое усреднение. Как и при измерениях энергетической освещенности, апертурная диафрагма может превышать 7 мм, если профиль падающего излучения достаточно равномерный.

Измерительный прибор должен быть откалиброван в абсолютных значениях мощности падающего излучения на единицу облучаемой площади и на единицу телесного угла приема, усредненного по полю обзора измерительного прибора.

Примечание — Измеряемая энергетическая яркость не должна усредняться по полю обзора меньше, чем указано, так как это может привести к завышению опасности. Размер усредняемого поля обзора связан со степенью движения глаз, которое распределяет мощность излучения источника на большей площади сетчатки. Размер усредняемого поля обзора α_{eff} не зависит от размера источника α. Для источников, у которых стягиваемый угол α меньше, чем указанное поле обзора α_{eff}, усредненное значение энергетической яркости будет меньше, чем действительная энергетическая яркость источника. Однако это биологически эффективное значение подходит для сравнения с предельно допустимым.

Измерение спектральной энергетической яркости применяется к следующим видам опасностей, описанным в 4.3:

- опасная для сетчатки доза излучения синего света L_B;
- термически опасная для сетчатки доза излучения L_R;
- термически опасная для сетчатки доза излучения — слабый визуальный стимул L_{IR}.

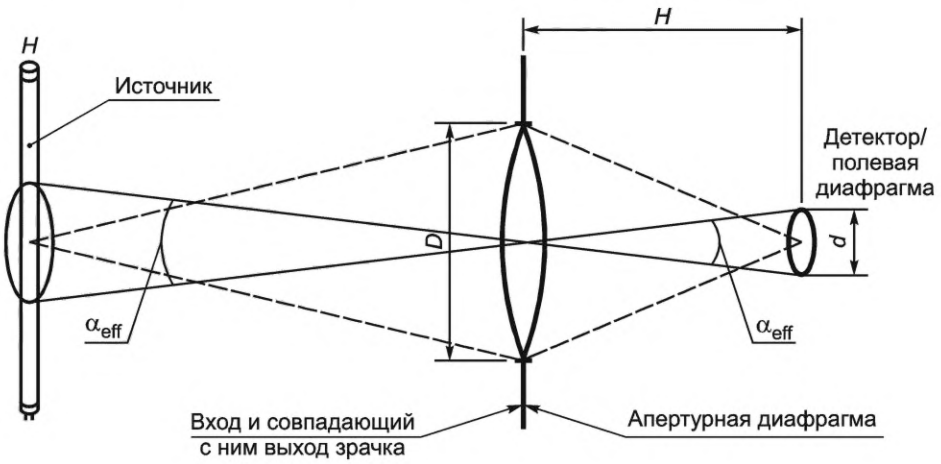


Рисунок 5.2 — Пример формирователя изображения для измерений энергетической яркости

5.2.2.2 Альтернативный метод

Измерение энергетической яркости может быть представлено как измерение энергетической освещенности с точно определенным полем обзора, при этом измеренное значение энергетической освещенности делится на измерительное поле обзора для получения значения энергетической яркости. С другой стороны, исходя из схемы измерения энергетической яркости (указанной выше), схема измерения энергетической освещенности с круглой полевой диафрагмой, расположенной на источнике излучения, может быть использована для проведения измерения энергетической яркости (см. рисунок 5.3). Размер полевой диафрагмы F и расстояние от нее до апертурной диафрагмы r определяет поле обзора, т. е.:

$$\gamma = F/r. \qquad (5.1)$$

Эта схема предполагает, что полевая диафрагма может быть расположена достаточно близко к видимому источнику для получения требуемого поля обзора.

Связь между измеренной энергетической освещенностью E и энергетической яркостью источника L для нахождения нормали к поверхности источника ($\theta = 0$ в определении 3.31) для малых углов определяется как:

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

где Ω — угол в стерадианах — измерительное поле обзора, т. е. телесный угол, стягивающий плоский угол γ в радианах, показанный на рисунке 5.3. Кроме того, для малых углов соотношение между плоским углом γ и телесным углом Ω:

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

Таким образом, если использовать величины, изображенные на рисунке 5.3, то энергетическая освещенность через величины энергетической яркости выражается как:

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

Когда измерения энергетической освещенности используются для получения значений энергетической яркости для сравнения с опасными дозами излучений, диаметр полевой диафрагмы F должен соответствовать следующему выражению:

$$\gamma = \alpha_{eff}. \tag{5.5}$$

Примечание — Предел энергетической освещенности для опасной дозы излучения синего света от малого источника эквивалентен пределу для энергетической яркости при указанном измерительном поле обзора. Предел энергетической освещенности получается путем умножения предела энергетической яркости на измерительное поле обзора с использованием формулы (5.4).

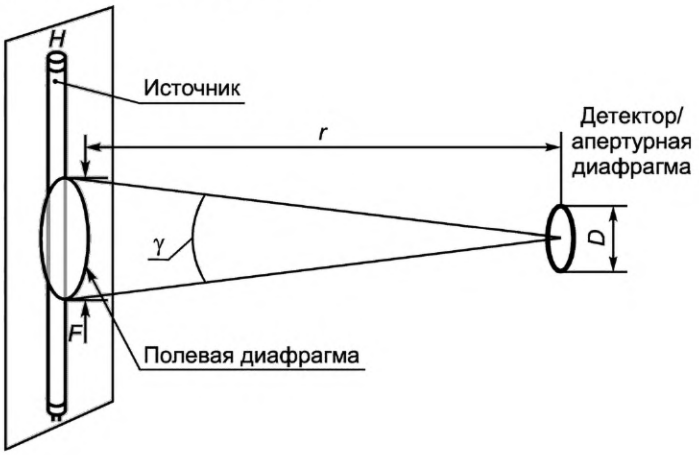


Рисунок 5.3 — Альтернативный метод измерения энергетической яркости

5.2.3 Измерение размеров источника

Для определения опирающегося на источник угла α необходимо определить 50 % точек излучения источника. Общие методы с использованием фотографии или ПЗС-камер следует применять только после проверки того, что спектр достаточно равномерный для использования видимого излучения как аналога инфракрасного излучения. Изменения спектра в области источника могут привести к различным размерам источника для различных областей спектра (см. Sliney and Wolbarsht, 1980, пункт 12.6.6).

5.2.4 Измерение ширины импульса импульсных источников

Определение номинальной длительности импульса источника Δt требует определения времени, в течение которого излучение превышает 50 % своего пикового значения. Общие методы, например с использованием фотоэлемента с осциллографом, следует применять только после проверки того, что

спектр достаточно равномерный для использования видимого излучения как аналога инфракрасного или ультрафиолетового излучения. Изменения спектра в течение импульса могут привести к различным значениям ширины импульса для различных областей спектра.

5.3 Методы анализа

5.3.1 Интерполяция взвешивающих кривых

Взвешивающие кривые, определенные в таблице 4.1, обычно не позволяют достаточно точно проводить расчеты взвешенных значений излучения. Эти функции достаточно линейные в любом небольшом диапазоне в полулогарифмических координатах. Поэтому для нормирования интерполированных значений используется линейная интерполяция логарифмов приведенных значений для определения промежуточных точек в желаемых интервалах диапазона длин волн (рекомендуется в интервале 1 нм). Для интерполяции весовых коэффициентов требуется антилогарифм результатов интерполяции.

5.3.2 Расчеты

Расчет значений опасности источника должен проводиться путем взвешивания по спектру с соответствующей весовой функцией и расчетом общей взвешенной энергии. Для обеспечения повторяемости методов настоящего стандарта для спектра ниже 400 нм предлагается интерполяция или суммирование с шагом 1 нм. Взвешивание и суммирование затем проводятся с разрешением 1 нм. Свыше 400 нм рекомендуется шаг 5 нм.

5.3.3 Неопределенность измерения

Качество всех измеренных результатов должно быть оценено анализом неопределенности. Все рассчитанные результаты должны быть приведены вместе со значениями неопределенности, которые соответствуют руководству, указанному в нормативных ссылках. Неопределенность каждого результата должна указываться как расширенная неопределенность, которая рассчитывается из суммарной стандартной неопределенности u_c, с использованием коэффициента охвата $k = 2$, как указано в руководстве ISO, приведенном в разделе 2. Значения неопределенностей должны исходить из расчета неопределенности калибровки и включать все источники, указанные в приложении С.

Таблица 5.4 — Суммарные значения предельных доз для кожи или роговицы (значения, базирующиеся на энергетической освещенности)

Наименование опасности	Соответствующее уравнение	Диапазон длин волн, нм	Длительность воздействия, с	Ограничивающая апертура, рад (град)	Предельные дозы при постоянной энергетической освещенности, Вт · м$^{-2}$
Актиничное УФ-воздействие на кожу и глаза	$E_S = \sum E_\lambda \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	200—400	< 30 000	1,4 (80)	$30/t$
УФ-А-воздействие на глаза	$E_{UVA} = \sum E_\lambda \cdot \Delta\lambda$	315—400	≤1 000 >1 000	1,4 (80)	$10\,000/t$ 10
Синий свет от малого источника	$E_B = \sum E_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	300—700	≤100 >100	< 0,011	$100/t$ 1,0
ИК-воздействие на глаза	$E_{IR} = \sum E_\lambda \cdot \Delta\lambda$	780—3 000	≤1 000 >1 000	1,4 (80)	$18\,000/t^{0,75}$ 100
Термическое воздействие на кожу	$E_H = \sum E_\lambda \cdot \Delta\lambda$	380—3 000	<10	2π ср	$20\,000/t^{0,75}$

Таблица 5.5 — Суммарные значения предельных доз для сетчатки (значения, базирующиеся на энергетической яркости)

Наименование опасности	Соответствующее уравнение	Диапазон длин волн, нм	Длительность воздействия, с	Поле обзора, рад	Предельные дозы при постоянной энергетической яркости, $Вт \cdot м^{-2} \cdot ср^{-1}$
Синий свет	$L_B = \sum L_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	300—700	От 0,25 до 10 От 10 до 100 От 100 до 10 000 ≥ 10 000	$0{,}011 \cdot \sqrt{(t/10)}$ 0,011 $0{,}0011 \cdot \sqrt{t}$ 0,1	$10^6/t$ $10^6/t$ $10^6/t$ 100
Термическое воздействие на сетчатку	$L_R = \sum L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	380—1 400	< 0,25 От 0,25 до 10	0,001 7 $0{,}011 \cdot \sqrt{(t/10)}$	$50\,000/(\alpha \cdot t^{0,25})$ $50\,000/(\alpha \cdot t^{0,25})$
Термическое воздействие на сетчатку (слабый визуальный стимул)	$L_{IR} = \sum L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	780—1 400	>10	0,011	$6\,000/\alpha$

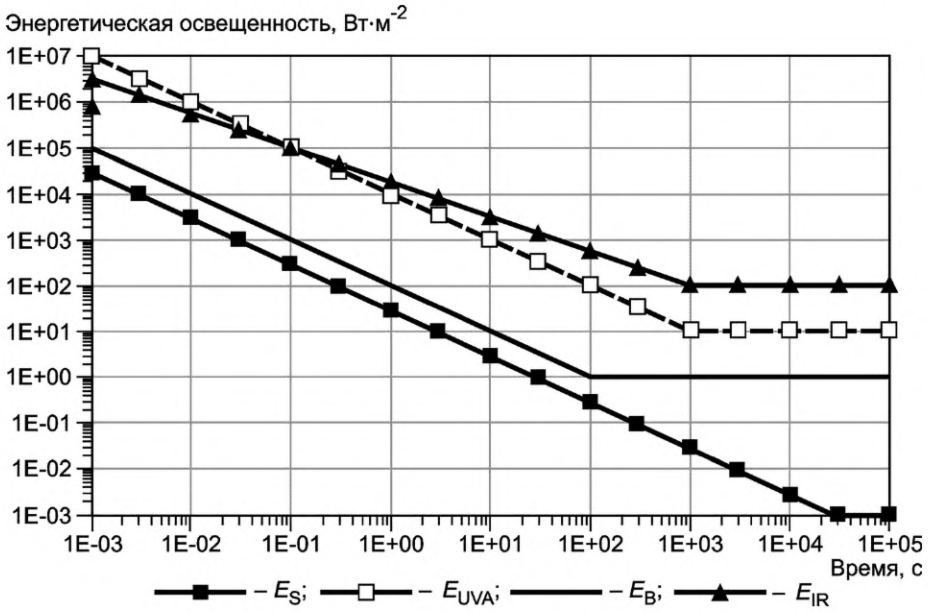


Рисунок 5.4 — Пределы взвешенных значений энергетической освещенности в зависимости от времени постоянного воздействия

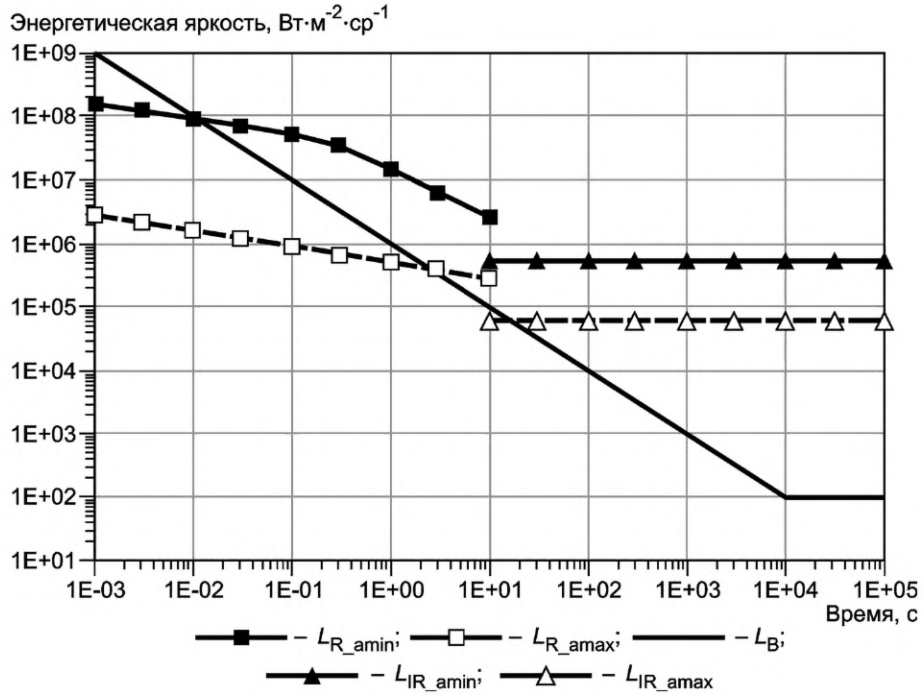


Рисунок 5.5 — Пределы взвешенных значений энергетической яркости в зависимости от времени постоянного воздействия

6 Классификация ламп

Настоящий стандарт был разработан техническим комитетом CIE TC 6-47 совместно с представителями IEC SC34A. Эти совместные усилия были существенны, и поэтому данное издание, касающееся классификации по группам риска и расстоянию, при котором указывается значение фотобиологической опасности от излучения лампы, могло быть всесторонне согласовано. Такая классификационная схема полезна, так как лампы могут быть источником нескольких видов опасностей. В целях настоящего стандарта значения должны быть представлены следующим образом:

- для ламп общего назначения (см. определение 3.11) опасные значения должны быть указаны в значениях или энергетической освещенности, или энергетической яркости при расстоянии, на котором освещенность составляет 500 лк, но не менее 200 мм;
- для всех других источников света, включая импульсные лампы, опасные значения должны быть указаны для расстояния 200 мм.

Настоящий раздел касается классификации ламп. Однако подобная классификация может применяться к светильникам или другим системам, содержащим лампы. Для ламп общего назначения расстояние, на котором проводятся измерения энергетической освещенности, зависит от измерительных возможностей.

Классификационная схема указывает только на потенциальный риск. В зависимости от используемых факторов, времени воздействия и эффектов светильника эти потенциальные опасности могут или не могут стать реальными опасностями. В таблице 6.1 приведены различные предельные дозы энергетической освещенности и энергетической яркости для каждого вида опасности, рассмотренного в 4.3, и для каждой группы риска.

Примечание — В некоторых случаях одни и те же лампы могут быть использованы как для общего назначения, так и для специального применения. В таких случаях оценка и нормирование должны проводиться для целевого назначения.

6.1 Лампы непрерывного излучения

6.1.1 Группа, не подлежащая контролю

Концептуальной основой для классификации настоящей группы как не подлежащей контролю является то, что лампы не представляют никакой фотобиологической опасности по всем пунктам настоящего стандарта. Это требование удовлетворяется для любой из ламп, которая не является источником:

- актиничной ультрафиолетовой опасности E_S при 8-часовом воздействии (30 000 с);
- опасности ближнего УФ-излучения E_{UVA} при длительности воздействия 1000 с (примерно 16 мин);
- опасного для сетчатки излучения синего света L_B при длительности воздействия 10 000 с (примерно 2,8 ч);
- термически опасного для сетчатки излучения L_R при длительности воздействия 10 с;
- опасного для глаз инфракрасного излучения E_{IR} при длительности воздействия 1000 с.

Такие лампы относятся к группе, не подлежащей контролю.

Кроме того, лампы, которые являются источником инфракрасного излучения без сильного визуального стимула (например, менее 10 кд · м$^{-2}$) и не являются источниками опасного для сетчатки ближнего ИК-излучения L_{IR} при длительности воздействия 1000 с, также относятся к группе, не подлежащей контролю.

6.1.2 Группа риска 1 (малый риск)

Концептуальной основой для классификации настоящей группы является то, что эти лампы не представляют опасности из-за обычного поведенческого ограничения по длительности воздействия. Это требование удовлетворяется для любой из ламп, излучение которой превышает пределы для группы, не подлежащей контролю, но не является источником:

- актиничной ультрафиолетовой опасности E_S при длительности воздействия 10 000 с;
- опасности ближнего УФ-излучения E_{UVA} при длительности воздействия 300 с;
- опасного для сетчатки излучения синего света L_B при длительности воздействия 100 с;
- термически опасного для сетчатки излучения L_R при длительности воздействия 10 с;
- опасного для глаз инфракрасного излучения E_{IR} при длительности воздействия 100 с.

Такие лампы относятся к группе риска 1 (малый риск).

Лампы, которые являются источником инфракрасного излучения без сильного визуального стимула (например, менее 10 кд · м$^{-2}$) и не являются источниками опасного для сетчатки ближнего ИК-излучения (L_{IR}) при длительности воздействия 100 с, также относятся к группе риска 1 (малый риск).

6.1.3 Группа риска 2 (средний риск)

Концептуальной основой для классификации по группе риска 2 (средний риск) является то, что эти лампы не представляют опасности из-за неприязненной реакции глаз на очень яркие источники света или из-за дискомфорта, обусловленного повышенной температурой. Это требование удовлетворяется для любой из ламп, излучение которой превышает пределы для группы 1 (малый риск), но не является источником:

- актиничной ультрафиолетовой опасности E_S при длительности воздействия 1000 с;
- опасности ближнего УФ-излучения E_{UVA} при длительности воздействия 100 с;
- опасного для сетчатки излучения синего света L_B при длительности воздействия 0,25 с (отсутствие реакции);
- термически опасного для сетчатки излучения L_R при длительности воздействия 0,25 с (отсутствие реакции);
- опасного для глаз инфракрасного излучения E_{IR} при длительности воздействия 10 с.

Такие лампы относятся к группе риска 2 (средний риск).

Лампы, которые являются источником инфракрасного излучения без сильного визуального стимула (например, менее 10 кд · м$^{-2}$) и не являются источниками опасного для сетчатки ближнего ИК-излучения L_{IR} при длительности воздействия 10 с, также относятся к группе риска 2 (средний риск).

6.1.4 Группа риска 3 (большой риск)

Концептуальной основой для этой классификации является то, что эти лампы могут представлять опасность даже при кратковременном или недолгом воздействии.

Лампы, которые превышают пределы для группы риска 2 (средний риск), относятся к группе риска 3 (большой риск).

6.2 Импульсные лампы

Указанные критерии для импульсных ламп должны применяться к одиночному импульсу или к любой группе импульсов в пределах 0,25 с.

Импульсная лампа должна оцениваться при наибольшей номинальной энергетической нагрузке, установленной изготовителем.

Соответствующая взвешенная энергетическая экспозиция (H или $E \cdot t$) или интегрированная по времени взвешенная энергетическая доза ($L \cdot t$) для каждого импульса должна быть получена интегрированием взвешенной энергетической освещенности или энергетической яркости, излучаемой источником по полной длительности импульса, с временем интегрирования, ограниченным максимум 0,25 с. Рассчитанная взвешенная энергетическая экспозиция или энергетическая яркость сравнивается с предельными значениями, приведенными в 4.3, для каждого из видов фотобиологических опасностей, подлежащих оценке.

Примечание — Полученное взвешенное значение энергетической яркости должно быть усреднено в пределах правильного кругового конуса поля обзора в 0,0017 рад, включая угол, как указано в 4.2.2.

Определение группы риска испытываемой лампы проводится следующим образом:

- лампы, у которых превышено предельное значение, должны быть классифицированы как принадлежащие к группе риска 3 (большой риск);
- лампы с одним импульсом, у которых взвешенная энергетическая экспозиция или взвешенная энергетическая доза ниже предельных значений, должны быть классифицированы как принадлежащие к группе, не подлежащей контролю;
- лампы с повторяющимися импульсами, у которых взвешенная энергетическая экспозиция или взвешенная энергетическая доза ниже предельных значений, должны оцениваться по критериям, указанным в 6.1 для ламп непрерывного излучения, с использованием усредненных по времени параметров импульсного излучения.

Таблица 6.1 — Нормы излучения для групп рисков продолжительно работающих ламп

Риск	Спектральное действие	Символ	Предельные значения излучения			Единицы
			Не подлежащие контролю	Малый риск	Средний 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	10 000	4 000 000	Вт · м$^{-2}$ · ср$^{-1}$
Синий свет, малый источник	$B(\lambda)$	E_B	1,0*	1,0	400	Вт · м$^{-2}$
Термический для сетчатки	$R(\lambda)$	L_R	28 000/α	28 000/α	71 000/α	Вт · м$^{-2}$ · ср$^{-1}$
Термический для сетчатки, слабый визуальный стимул**	$R(\lambda)$	L_{IR}	6 000/α	6 000/α	6 000/α	Вт · м$^{-2}$ · ср$^{-1}$
ИК-излучение для глаз		E_{IR}	100	570	3 200	Вт · м$^{-2}$

* Малый источник определяется углом α < 0,011 рад. Усредняющее поле обзора при длительности воздействия 10 000 с — 0,1 рад.

** Включая оценку источника не для общего назначения.

Приложение А
(справочное)

Суммарный перечень биологических эффектов

Биоэффект № 1: Инфракрасная катаракта

А.1 Биоэффект: Инфракрасная катаракта также известна как промышленная тепловая катаракта, катаракта плавильщика или катаракта стеклодува.

А.1.1 Орган/место: Глаз/хрусталик.

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

А.1.3 Пик спектрального действия: Неизвестен; вероятно, от 900 до 1000 нм.

А.1.4 Наличие данных: Доступны данные о предельном пороге острой катаракты кроликов при воздействии излучения с длиной волны 1064 нм (Wolbarsht, 1992) и в ИК-А-диапазоне (Pitts and Cullen, 1981); по человеку данных нет. Степень аддитивности и спектральное действие неизвестны. Хорошие эпидемиологические данные (Lydahl, 1984).

А.1.5 Зависимость от времени: Заметное помутнение хрусталика обычно происходит в течение многих лет хронического воздействия высоких уровней; фактическое время зависит от того, насколько величина воздействия отличается от предельной дозы. Сильное воздействие вызывает реакцию в течение более короткого промежутка времени.

А.1.6 Механизм: Обычно предполагается термическим, хотя последние исследования говорят о возможной фотохимической реакции — детали неясны. Хрусталик может нагреваться как от прямого излучения (Vogt, 1919), так и от тепла, приходящего от нагретой радужной оболочки (Goldmann, 1983).

А.1.7 Симптомы: «Помутнение» зрения.

А.1.8 Необходимая информация: Спектральное действие, если имеется, для сильного или сопутствующего ультрафиолетового излучения; аддитивность неоднократных воздействий и возможность замедленных эффектов от периодически повторяющихся воздействий.

А.1.9 Опыт с лампами: Случайный вред неизвестен даже от нагревательных ламп. Ограниченное воздействие на человека.

А.1.10 Ключевые ссылки:

GOLDMANN, H. Experimentelle Untersuchungen über die Genese des Feuerstars. 111 Mitteilung. Die Physik des Feuerstars I. Teil. *Arch. für Ophthalmol.* (Экспериментальные исследования генезиса огненной катаракты), 130, 93—130 (1983).

LYDAHL, E. Infrared Radiation and Cataract. *Acta Ophtalmologica*, Suppl. (Инфракрасное излучение и катаракта), 166, 1—63 (1984).

PITTS, D.G. and CULLEN, A.P. Determination of Infrared Radiation Levels for Acute Ocular Cataractogenesis. *von Graefes Arch. Ophthal.* (Определение уровней ИК-излучения для сильного катарогенезиса глаза), 217, 285—297 (1981).

SLINEY, D.H. and WOLBARSHT, M.L. *Safety with Lasers and Other Optical Sources*. New York, Plenum (Безопасность при работе с лазерами и другими оптическими источниками) (1980).

VOGT, A. Experimentelle Erzeugung von Katarakt durch isoliertes kurzwelliges Ultrarot, dem Rot beigemischt ist. *Klin. Mb/Augenheilk.* (Экспериментальное образование катаракты в изолированной коротковолновой инфракрасной области с добавлением красного цвета), 63, 230—231 (1919).

WOLBARSHT, M.L. Cataract from Infrared Lasers: Evidence for Photochemical Mechanisms. Lasers and Light Ophthalmology (Катаракта от ИК-лазеров: Доказательство фотохимических механизмов), 4, 91—96 (1992).

Биоэффект № 2: Фотокератит

А.2 Биоэффект: Фотокератит.

А.2.1 Орган/место: Глаз/роговица.

А.2.2 Спектральный диапазон: От 180—200 до 400—420 нм, главным образом 200—320 нм.

А.2.3 Пик спектрального действия: Примерно 270 нм (Pitts, 1971); примерно 288 нм (Cogan and Kinsey, 1946).

А.2.4 Наличие данных: Хорошие данные об остром пороге: для кроликов — от 200 до 400 нм, для обезьян — от 200 до 320 нм, для людей — от 200 до 300 нм. Данные разных лабораторий обычно хорошо совпадают.

А.2.5 Зависимость от времени: Реакция обычно появляется в течение 4—12 ч после воздействия излучения. Проходящее время зависит от того, насколько величина воздействия отличается от предельной дозы. Сильное воздействие вызывает реакцию в течение более короткого промежутка времени. Проходит через 24—48 ч, за исключением очень существенных воздействий.

А.2.6 Механизм: Фотохимическая реакция, вызывающая цепь биологических реакций; детали неясны.

А.2.7 Симптомы: «Песок» в глазах, блефароспазм (внезапное, сильное, непроизвольное сокращение мышц век), некоторая затуманенность зрения; реакция в глазной щели (отверстие между верхним и нижним веками).

А.2.8 Необходимая информация: Большее разрешение порогового значения в диапазоне от 305 до 320 нм; возможность замедленных эффектов из-за повторяющихся воздействий.

А.2.9 Опыт с лампами: Не редки случайные воздействия от бактерицидных ламп, ртутных и ксеноновых дуговых ламп, но только специального применения. Ограниченное воздействие на человека.

А.2.10 Ключевые ссылки:

COGAN, D.G. and KINSEY, V.E. Action Spectrum of Keratitis Produced by Ultraviolet Radiation. *Arch. Ophthalmol.* (Действие спектра каратита, создаваемого УФ-излучением), 35, 670—617 (1946).

HEDBLOM, E.E. Snowscape Eye Protection. *Arch Environ. Health* (Защита глаз), 2, 685—704 (1961).

LEACH, W.M. *Biological Aspects of Ultraviolet Radiation, A Review of Hazards*. BRH/DBE 70-3, U.S. Public Health Service, Bureau of Radiological Health, Rockville, Maryland (Биологические аспекты УФ-излучения. Обзор опасностей) (Sept. 1970).

MACKEEN, D., FINE, S., AARON, A., and FINE, B.S. Preventable Hazards at UV Wavelengths. *Laser Focus* (Предупредительные опасности при УФ-длинах волн), 7(4), 29 (1971).

PITTS, D.G. and TREDICI, T.J. The Effects of Ultraviolet on the Eye. *Ameri. Ind. Hyg. Ass. J.* (Влияние УФ-излучения на глаза) 32(4), 235—246 (1971).

Биоэффект № 3: Фоторетинит

А.3 Биоэффект: Фоторетинит, или повреждение сетчатки синим светом.

А.3.1 Орган/место: Глаз/сетчатка.

А.3.2 Спектральный диапазон: От 400 до 700 нм (главным образом 400—500 нм) для глаза с естественным неповрежденным хрусталиком; 310—700 нм для афакического глаза (хрусталик удален) (главным образом 310—500 нм).

А.3.3 Пик спектрального действия: Примерно 445 нм (Ham, 1976); примерно 310 нм для афакического глаза (Ham, 1980) для обезьян.

А.3.4 Состояние знаний: Хорошие данные об остром пороге для обезьян и некоторые подтверждающие данные для людей при медицинском использовании лазера, случайном воздействии солнечного излучения или дуговой сварке.

А.3.5 Зависимость от времени: Этот механизм повреждения преобладает над термическим только при продолжительных воздействиях (более 10 с). Реакция обычно появляется более чем через 12 ч после воздействия излучения. Проходящее время зависит от того, насколько величина воздействия отличается от предельной дозы. Сильное воздействие вызывает реакцию в течение более короткого промежутка времени; наибольшая реакция обычно наблюдается после 48 ч. При случайном воздействии солнечного света и дугового разряда у людей наблюдается некоторое восстановление.

А.3.6 Механизм: Фотохимическая реакция, вызывающая цепь биологических реакций, сосредоточенных, вероятно, в районе пигментированного эпителия сетчатки; детали неясны.

А.3.7 Симптомы: «Слепая зона», или скотома, где яркое изображение дуги находилось на сетчатке. Визуальное повреждение сетчатки (обычно депигментация от синего света или гиперпигментация от излучения некоторой части УФ-диапазона) наблюдается при офтальмологическом исследовании в пределах 48 ч после воздействия. Потеря зрения может быть постоянной, хотя в легких случаях наблюдается восстановление.

А.3.8 Необходимая информация: Больше знаний о механизме повреждения; данные в диапазоне длин волн от 400 до 450 нм при длительности воздействия менее 10 с; данные об аддитивности повторяющихся воздействий и возможных замедленных эффектах от периодических воздействий с уровнем менее предельной дозы.

А.3.9 Опыт с лампами: Крайне редкие или неописанные повреждения из-за чрезмерного воздействия от пристального взгляда на лампы. Естественная защитная реакция обычно ограничивает воздействие, препятствуя возникновению фоторетинита. Ограниченное воздействие на человека.

А.3.10 Ключевые ссылки:

HAM, W.T. Jr, MUELLER, H.A., and SLINEY, D.H. Retinal Sensitivity to Damage by Short-Wavelength Light. *Nature* (Чувствительность сетчатки к повреждению от коротковолнового света), 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.* (Природа повреждения сетчатки от облучения: Зависимость от длины волны, уровня мощности и времени облучения), 20(12), 1105—1111 (1980).

MAINSTER, M.A. Spectral Transmission of Infraocular Lenses and Retinal Damage from Intense Light Sources. *Am. J. Ophthalmol*. (Спектральное пропускание глазных хрусталиков и повреждение сетчатки от интенсивных источников света), 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. (Повреждение от света и практика офтальмологии) (1983).

PITTS, D.G. The Human Ultraviolet Action Spectrum. *American Journal Optom. Physiol. Opt.* (Спектр УФ-действия на человека), 51, 946—960 (1974).

SLINEY, D.H. Eye Protective Techniques for Bright Light. *Ophthalmology* (Техника защиты глаз от яркого света), 90(8), 937—944 (1983).

SLINEY, D.H. and WOLBARSHT, M.L. *Safety with Lasers and Other Optical Sources*. New York, Plenum (Безопасность при работе с лазерами и другими оптическими источниками) (1980).

SPERLING, H.G. (ed). Intense Light Hazards in Ophthalmic Diagnosis and Treatment. Proceedings of a Symposium, *Vision Res*. (Риск интенсивного света в офтальмологических диапазоне и лечении), 20(12), 1033—1203 (1980).

VARMA, S.D. and LERMAN, S. (eds). *Proceeding of the First International Symposium on Light and Oxygen Effects on the Eye*. Oxford: IRL Press (1984) [also published as Current Eye Res. (Протоколы 1-го Международного симпозиума по свету и воздействию кислорода на глаза), 3(1) (1984).]

WAXIER, M. and HITCHENS, V. (eds). *Optical Radiation and Visual Health*. Boca Ration, CRC Press (Оптическое излучение и визуальное здоровье) (1986).

WILLIAMS, T.B. and BAKER, B.N. (eds). *The Effects of Constant Light on the Visual System*. New York, Plenum Press (Воздействие постоянного света на визуальную систему) (1980).

YOUNG, R.W. A Theory of Central Retinal Disease. In: *New Directions in Ophthalmic Research*, Sears, M. L. (ed). New Haven, Yale University Press (Теория болезни центральной сетчатки), 237—270 (1981).

Биоэффект № 4: Термическое повреждение сетчатки

А.4 Биоэффект: Термическое повреждение сетчатки.

А.4.1 Орган/место: Глаз/сетчатка и сосудистая оболочка.

А.4.2 Спектральный диапазон: От 400 до 1400 нм (главным образом 400—1100 нм).

А.4.3 Пик спектрального действия: Примерно 500 нм (Ham, 1966).

А.4.4 Наличие данных: Хорошие данные об остром пороге для кроликов и обезьян и ограниченные данные для людей. Данные разных лабораторий обычно хорошо совпадают.

А.4.5 Зависимость от времени: Этот механизм повреждения преобладает над фотохимическим повреждением сетчатки при коротком воздействии (менее 10 с) или при длинах волн излучения более 700 нм. Заметная реакция обычно происходит немедленно (или в течение 5 мин, следующих после воздействия излучения). Восстановление лимитировано или невозможно.

А.4.6 Механизм: Термохимическая реакция, изменяющая свойства белков и других ключевых биологических компонентов клеток с разрушением биологической ткани. Поглощение света и первоначальное повреждение сосредоточены в пигментированном эпителии сетчатки и сосудистой оболочке.

А.4.7 Симптомы: «Слепая зона», или скотома, где яркое изображение источника находилось на сетчатке. Визуальное повреждение сетчатки (обычно депигментация) наблюдается при офтальмологическом исследовании в пределах 5 мин и особенно в пределах 24 ч после воздействия. Потеря зрения будет максимальной сразу после воздействия, и в течение 14 дн может произойти некоторое ограниченное восстановление.

А.4.8 Необходимая информация: Больше данных о воздействии изображения большого размера (>1 мм).

А.4.9 Опыт с лампами: Фактически нет ламп, способных вызвать такой тип повреждения. Ксеноновые дуговые лампы, сфокусированные на глаз, могут вызвать такой эффект, что показано клиническими опытами. Поэтому крайне редки или не описаны повреждения от пристального взгляда на сильные ксеноновые лампы. Естественная защитная реакция обычно ограничивает воздействие, препятствуя повреждению.

А.4.10 Ключевые ссылки:

ALLEN, R.A. Retinal Thermal Injury. *Proc ACGIH Topical Symposium,* 26—28 November 1979, ACGIH, Cincinnati, Ohio (Тепловое повреждение сетчатки) (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*. (Природа повреждения сетчатки излучением: Зависимость от длины волны, уровня мощности и времени облучения), 20(12), 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 Mammalian Eye. *Trans. NY Acad. Sci.* (Воздействие излучения лазера на глаза млекопитающих), 28, 517—526 (1966).

SLINEY, D.H. and WOLBARSHT, M.L. *Safety with Lasers and Other Optical Sources*. New York, Plenum, (Безопасность при работе с лазерами и другими оптическими источниками) (1980).

Биоэффект № 5: Ультрафиолетовая катаракта

А.5 Биоэффект: Ультрафиолетовая катаракта.

А.5.1 Орган/место: Глаз/хрусталик.

А.5.2 Спектральный диапазон: От 290 до 325 нм; возможно, до 400 нм.

А.5.3 Пик спектрального действия: Примерно 305 нм (Pitts, 1977) для острой катаракты; нет спектрального действия, оказывающего эффект, при длине волны > 325 нм (Lerman, 1980, Zigman, 1979).

А.5.4 Наличие данных: Хорошие данные об остром пороге для кроликов и обезьян (295—325 нм); нет данных для острой катаракты человека, но есть эпидемиологическое подтверждение для постоянного воздействия УФ-В-излучения (Taylor, 1988).

А.5.5 Зависимость от времени: Заметное помутнение хрусталика обычно появляется через 4 или более часов после воздействия; время зависит от того, насколько воздействие отличается от порогового предела. Большое воздействие вызывает реакцию в течение более короткого промежутка времени; некоторое восстановление наблюдается в течение нескольких дней только вблизи порога; в других случаях происходит постоянное помутнение хрусталика.

А.5.6 Механизм: Фотохимическая реакция; детали неясны.

А.5.7 Симптомы: «Помутнение» зрения.

А.5.8 Необходимая информация: Спектральное действие, если существует, для острого и действующего УФ-А-излучения; данные об аддитивности повторяющихся воздействий и возможных задержанных эффектов от периодических воздействий.

А.5.9 Опыт с лампами: Известны случайные повреждения даже от воздействия ксеноновых дуговых ламп. Ограниченное воздействие на человека.

А.5.10 Ключевые ссылки:

BRACHEM, A. Ophtalmic ultraviolet action spectra. *Am. J. Ophtalm.* (Офтальмический УФ-спектр действия), 41, 969—976 (1956).

LERMAN, S. *Radiant Energy and the Eye*. Mac Millian, Inc., New York (Лучистая энергия и глаза) (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 (Биологические воздействия УФ-излучения с упором на реакцию человека на длинноволновый УФ) (1978).

PITTS, D.G. The Ocular Ultraviolet Action Spectrum and Protection Criteria. *Health Physics* (Глазной УФ-спектр действия и критерии защиты), 25, 559—566 (1973).

PITTS, D.G. and CULLEN, A.P. and HACKER, P.D. Ocular Ultraviolet Effects from 295—1000 nm. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* (Воздействие на глаз УФ от 295 до 1 000 нм), 16(10), 932—939 (1977).

SLINEY, D.H. Estimating the Solar Ultraviolet Radiation Exposure to an Intraocular Lens Implant. *J. Cataract Refract. Surg.* (Оценка солнечного УФ-облучения на глазные хрусталики), 13, 296—301, May 1987.

SLINEY, D.H. Physical Factors in Cataractogenesis — Ambient Ultraviolet Radiation and Temperature. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* (Физические факторы в катарогенезисе. Окружающие УФ-излучение и температура), 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 Radiation on Cataract Formation. *New England Journal of Medicine* (Воздействие УФ-излучения на образование катаракты), 319, 1429 (1988).

WAXIER, M. and HITCHENS, V. (eds). *Optical Radiation and Visual Health*. Boca Ration, CRC Press (Оптическое излучение и визуальное здоровье) (1986).

ZIGMAN, S., DATILES, M., and TORCYZNSKI, E. Sunlight and Human Cataracts. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* (Солнечный свет и катаракта человека), 18(5), 462—467, 1979.

ZUCLICH, J.A. and CONNOLLY, J.S. Ocular Damage Induced by Near Ultraviolet Laser Radiation. *Invest. Ophthalmol.* (Повреждение глаз, вызванное ближним лазерным УФ-излучением), 15, 760—64 (1976).

Биоэффект № 6: Ультрафиолетовая эритема

А.6 Биоэффект: Ультрафиолетовая эритема.

А.6.1 Орган/место: Кожа.

А.6.2 Спектральный диапазон: От 180—200 до 400—420 нм, главным образом 200—320 нм.

А.6.3 Пик спектрального действия: Примерно 295 нм (Urbach, 1968, Anders, 1995); примерно 254 нм (Hausser, 1928, Coblentz, 1932, Freeman, 1966).

А.6.4 Наличие данных: Хорошие данные об остром пороге для людей (254—400 нм). Данные разных лабораторий обычно хорошо совпадают, если принимаются в расчет два спектральных действия: один для 4—8 ч и другой для 24—48 ч.

А.6.5 Зависимость от времени: Заметная реакция обычно появляется после 4—12 ч, следующих после воздействия, проходящее время зависит от того, отличается ли величина воздействия от предельной дозы. Сильное воздействие вызывает реакцию в течение более короткого промежутка времени; восстановление наблюдается в течение 24—48 ч, за исключением крайне тяжелых воздействий.

А.6.6 Механизм: Фотохимическая реакция, вызывающая цепь биологических реакций; детали не особо ясны (van der Leun, 1965).

А.6.7 Симптомы: Сгорание на солнце, покраснение кожи в местах воздействия ультрафиолетового излучения.

А.6.8 Необходимая информация: Большее разрешение порогового значения в диапазоне от 305 до 320 нм; возможность замедленного эффекта из-за повторяющихся воздействий.

А.6.9 Опыт с лампами: Не редки случайные воздействия от бактерицидных ламп, ртутных и ксеноновых дуговых ламп, но только специального применения. Намеренное воздействие от ламп для загара.

А.6.10 Ключевые ссылки:

ANDERS, A., ALTHEIDE, H., KNALMANN, M., and TRONNIER, H. Action Spectrum for Erythema in Humans Investigated with Dye Lasers. *Photochemistry and Photobiology* (Спектр действия эритемы при исследованиях людей с помощью лазера), 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.* (Данные по спектральной эритемной реакции незагорелой человеческой кожи на УФ-излучение), 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.* (Данные по спектральной эритемной реакции незагорелой человеческой кожи на УФ-излучение), 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.* (Спектральная эритемная реакция человеческой кожи на УФ-излучение), 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 (Солнечный свет и человек) (1974).

FITZPATRICK, T.B. Dermatology in general medicine (Дерматология в общей медицине), 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 Erythermal Response of Skin to Monochromatic Wavelengths of Ultraviolet Present in the Solar Spectrum. *J. Invest. Dermat*. (Требования к сравнительной энергии для эритемной реакции кожи на монохроматические длины волн УФ-присутствия в солнечном спектре), 64, 586—592 (1966).

HAUSSER, K.W. Influence of Wavelength in Radiation Biology. Strahlentherapie (Влияние длины волны в биологии облучения), 28, 25—44 (1928).

HAUSSER, K.W. and VAHLE, W. Sunburn and Suntanning (Солнечный ожог и солнечный загар) *Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Siemens Konzerns* 6(1), 101—120 (1927), Translated in: *Biologic Effects of Ultraviolet Radiation* (F.Urbach, ed), Pergamon Press, New York (1969).

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

ISO 17166:1999/CIE S007-1998 Erythema reference action spectrum and standard erythema dose (Справочный спектр действия эритемы и стандартная доза эритемы).

van der LEUN, J.C. Theory of Ultraviolet Erythema (Теория ультрафиолетовой эритемы).

LUCKIESH, M., HOLLADAY, L.L., and TAYLOR, A.H. Reaction of the Untanned Human Skin to Ultraviolet Radiation. *J. Opt. Soc. Amer*. (Реакция незагорелой человеческой кожи на ультрафиолетовое излучение), 20, 423—432 (1930).

PARRISH, J.A., JAENICKE, K.F. and ANDERSON, R.R. Erythema and melanogenesis action spectrum of normal human skin. *Photochemistry and Photobiology* (Эритема и спектр действия меланогенезиса нормальной человеческой кожи), 36, 187, 1982.

SCHMIDT, K. On the Skin Erythema Effect of UV Flashes. *Strahlentherapie* (Влияние УФ-вспышек на эритему кожи), 124, 127—136 (May 1964).

URBACH, F. (ed). *The Biologic Effects of Ultraviolet Radiation* (Биологическое воздействие ультрафиолетового излучения). Pergamon Press, New York. pp. 83—39, 327—436, 541—654 (1968).

World Health Organization. Ultraviolet Radiation. Environmental Health Criteria (Всемирная организация по здравоохранению. Ультрафиолетовое излучение) 14, WHO, Geneva (1979).

Приложение В
(справочное)

Метод испытания

В.1 Измерительные приборы

В.1.1 Двойной монохроматор: рекомендуемый прибор

Измерение параметров источника излучения в целях классификации опасностей требует точности при калибровке и испытаниях. Широкополосная спектральная чувствительность детектора и высокая спектральная разрешающая способность, требуемые для обеспечения точного взвешивания, приводят к строгим требованиям по подавлению внеполосных световых побочных излучений. Калибровочные источники обеспечивают широкие спектральные выходные характеристики, которые должны быть ограничены вне полосы пропускания. Отношение внеполосной энергии к энергии в полосе пропускания при длине волны 270 нм для вольфрамовых или вольфрамово-галогенных калибровочных ламп должно быть меньше, чем 10^{-4}. Двойной монохроматор — единственный прибор, обеспечивающий необходимую селективность, и он рекомендуется для измерений, касающихся опасности УФ-диапазона и видимого излучения. Очевидно, что монохроматические системы создают некоторые ограничения по удобству и быстродействию измерений. Использование одиночного монохроматора в УФ-диапазоне или видимом диапазоне оправдано только в том случае, если получаются сопоставимые с двойным монохроматором результаты. Например, одиночный монохроматор может применяться для светодиодов, которые известны очень ограниченной спектральной полосой излучения.

В.1.2 Широкополосные детекторы

Современные широкополосные детекторы, откалиброванные по соответствующему спектру действия, можно использовать, но с соответствующей осторожностью. Они удобны в использовании при работе с импульсными источниками излучения при короткой длительности импульсов или источниками излучения низкой интенсивности. Широкополосные сенсоры для оценки опасности, как правило, стремятся согласовать взвешенный спектр путем использования фильтров. Это согласование никогда не бывает точным и приводит к некоторым ошибкам. Спектральная ошибка вносит вклад в неопределенность только в той степени, насколько неизвестны спектр источника излучения и спектральная чувствительность детектора.

Если спектр источника неизвестен, то максимальное процентное расхождение между детектором и спектром действия принимается в качестве неопределенности. Эта оценка неопределенности должна включать рассмотрение спектральной области, где спектр действия равен нулю.

Когда известны спектральная чувствительность детектора и спектр источника излучения, путем простых расчетов можно определить коэффициент коррекции. При использовании вместе с соответствующим коэффициентом коррекции широкополосный детектор обеспечивает достоверный метод измерения в соответствии с настоящим стандартом. На радиометриста возлагается ответственность показать, что коэффициент коррекции обоснован в каждом конкретном случае. Колебания, которые ведут или могут привести к изменениям спектра, требуют повторного определения коэффициента коррекции.

Примечание — Улучшить измерительный процесс во многих направлениях позволяет использование комбинации из взвешенных широкополосных радиометров и двойного монохроматора. Анализ пространственных, временных изменений или изменений от образца к образцу типов источника излучения может быть быстро выполнен при использовании детектора с фильтром.

В.2 Приборные ограничения

В.2.1 Шумовая эквивалентная энергетическая освещенность

Все приборы имеют предел, ниже которого невозможно провести измерение. Для анализа опасности неправомерно указывать в качестве результата нулевой сигнал, если известно только то, что измеренное значение меньше предела измерения прибора. Оборудование, используемое при испытаниях на безопасность, должно отличаться возможностью определения предела или пределов измерения. Если прибор показывает ноль или значение ниже предела измерения, то соответствующий предел измерения должен быть указан в протоколе. Если значение предела измерения прибора оказывает существенное влияние на классификацию источников излучения, тогда очевидно, что требуется более качественный измерительный прибор.

Примечание — Предел измерения спектрорадиометра обычно ограничивается собственными шумами детектора. За собственные шумы детектора могут быть приняты среднеквадратичные колебания его темнового тока. Величина собственных шумов детектора, умноженная на калибровочный спектр системы, чтобы в результате получить спектр той же размерности, что и измеряемый, называется приведенным ко входу уровнем шума (NEI). Указываемые в протоколе спектральные измерения — наибольшие из значений измеренного спектра и приведенного ко входу уровня шума (NEI) для каждой длины волны.

В.2.2 Спектральная чувствительность прибора

Форма спектральной чувствительность прибора (аппаратная функция) и отношение измерительного интервала к полосе пропускания будут определять способность системы точно производить измерения сигналов с узким спектром, к примеру атомных линий излучения (см. Kostkowski, 1997, глава 5).

Монохроматор с совершенной треугольной спектральной чувствительностью (аппаратной функцией), используемый в системе, имеющей рабочий интервал, равномерно разделенный на полосы пропускания, будет точно измерять все сигналы независимо от их спектральной формы (см. CIE 63:1984, пункт 1.8.4.2.1, или Kostkowski, 1997, пункт 5.9). Отклонения от этого могут привести к ошибкам в измерении энергии. Спектральная чувствительность системы должна быть определена при измерениях (при высокой спектральной разрешающей способности) источника, излучающего в узком диапазоне длин волн. Измеряемый спектр должен быть симметричным относительно длины волны источника, чтобы представлять отклик системы при установке на единичную длину волны. Способность системы точно измерять энергию узкополосного сигнала определяется точностью получения суммы спектральных характеристик на каждой из указанных длин волн. Колебания в суммарном спектре являются потенциальными источниками ошибок при определении параметров общего измеряемого сигнала и должны быть включены в анализ неопределенности.

Характеристики оборудования влияют на результат оценки опасности. Полоса пропускания монохроматора будет изменять взвешенные результаты любых областей спектра с переменными уровнями. Все приборы с ограниченной полосой пропускания представляют сигнал при неправильной длине волны, что ведет к ошибкам взвешенной суммы.

Ниже, в таблице В.1, указаны рекомендуемые значения полосы пропускания при 2 %-ной верхней границе неопределенности взвешенных сумм.

Таблица В.1 — Рекомендуемые значения полосы пропускания

Диапазон, нм	Полоса пропускания [полная ширина на половине высоты (FWHM)]
$200 \le \lambda \le 400$	≤ 4 нм
$400 \le \lambda \le 600$	≤ 8 нм
$600 \le \lambda \le 1400$	≤ 20 нм
$1400 \le \lambda$	Нет ограничений по полосе

Для смягчения предполагаемой точности полосы пропускания может быть использован более полный анализ, учитывающий спектр источника излучения. Результаты анализа должны быть включены в упомянутую неопределенность измерений.

Примечание — В системах с непрерывным интегрированием сигнала в течение спектрального сканирования при измерении общей энергии не наблюдаются ошибки, связанные с формой спектральной чувствительности или с отношением полосы пропускания к измерительному интервалу. Однако для такого типа приборов их широкая полоса пропускания будет приводить к ошибкам во взвешенных результатах.

В.2.3 Точность установки длин волн

Точность установки длин волн, используемых для определения формы спектра источника, оказывает огромное влияние на взвешенные значения. Например, спектральная весовая функция актиничной ультрафиолетовой опасности $S_{UV}(\lambda)$ изменяется с большой скоростью, т. е. на 250 % при отклонении в 3 нм от 300 нм. Если необходим приемлемый предел погрешности, то измеренная энергия должна быть точно связана с длиной волны, для которой производится ее взвешивание.

В таблице В.2 показано, как изменяются взвешенные значения при отклонении от измерительного интервала на 0,1 нм. Измеренные значения рассчитаны при условии, что спектрорадиометр имеет треугольную спектральную характеристику, полосу пропускания 2 нм и измерительный интервал в 1 нм. Сумма измеренных значений эквивалентна сдвигу линии по причинам, описанным в В.2.2. Численные значения взвешенных измерений отличаются на 2,5 % при изменении длины волны на 0,1 нм. Погрешность такой величины может возникнуть, если ошибка прибора по длине волны равна 0,1 нм.

Таблица В.2 — Пример зависимости погрешности взвешенного значения от погрешности длины волны

нм	$S_{UV}(\lambda)$	305 нм		305,1 нм		Соотношение сумм
		Измеренное	Взвешенное	Измеренное	Взвешенное	
304	0,084 85	0,250 00	0,021 21	0,2250 0	0,019 09	
305	0,060 00	0,500 00	0,030 00	0,4750 0	0,028 50	

Окончание таблицы В.2

нм	$S_{UV}(\lambda)$	305 нм		305,1 нм		Соотношение сумм
		Измеренное	Взвешенное	Измеренное	Взвешенное	
306	0,045 40	0,250 00	0,011 35	0,2750 0	0,012 49	
307	0,034 36	0,000 00	0,000 00	0,0250 0	0,000 86	
Суммы		1,000 0		1,000 0		≥ 100 %
Суммы			0,062 56		0,060 94	≥ 97,4 %

$S_{UV}(\lambda)$ — спектральная весовая функция актиничной ультрафиолетовой опасности.

Точность установки длин волн монохроматором, используемым для испытаний, должна быть достаточной для получения взвешенных результатов с погрешностью, возникающей из-за ошибки по длине волны меньше чем 3 %. Поэтому необходимая точность зависит от области спектра и используемой весовой функции. В таблице В.3 подведен итог предполагаемой точности, при которой погрешность будет равна ~3 %.

Таблица В.1 — Рекомендуемые значения точности установки длин волн

Диапазон, нм	Точность длины волны
$200 \le \lambda \le 300$	0,2 нм
$300 \le \lambda \le 325$	0,1 нм
$325 \le \lambda \le 600$	0,2 нм
$600 \le \lambda \le 1\,400$	2 нм

Для смягчения предполагаемой точности установки длин волн может быть использован более полный анализ, учитывающий спектр источника излучения. Результаты анализа должны быть включены в упомянутую неопределенность измерений.

В.2.4 Мощность побочного излучения

Полная калибровка спектрорадиометров требует применения источников с широким выходным спектром и большой энергией. Если спектральное подавление недостаточно, то дополнительная энергия от других участков спектра будет включена в калибровку. Результатом такого рода ошибки является «перекалибровка» спектрорадиометра, что приводит к заниженным значениям потенциальной опасности. Типичное соотношение между общей энергией и сигналом, пропущенным через монохроматор, составляет 10^4. Для достижения точности в 1 % подавление внеполосного излучения должно быть порядка 10^6 (см. CIE 63:1984).

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

Возникает ряд проблем касательно монохроматоров, использующих обычную входную оптику. Калибровочный и измеряемый источники могут не иметь ни одинаковой поляризации, ни одинаковых размеров, что приводит к колебаниям входного угла. Кроме того, измеряемые источники будут стягивать как малый, так и большие углы. Эти различия могут привести к ошибочным измерениям. Использование интегрирующей сферы в качестве входного устройства для монохроматора — это рекомендуемый метод при измерении энергетической освещенности, так как случайное отражение от покрытия изменяет поляризацию входящего света; конструкция по мере возможности должна иметь характеристику, близкую к косинусной; многократные переотражения внутри интегрирующей сферы равномерно заполняют вход радиометра. Больше трудностей может возникнуть с косинусной характеристикой УФ-детекторов.

В качестве входного устройства для монохроматора или радиометра также может выступать правильно сконструированный рассеиватель.

В.2.6 Линейность

Предполагается, что отдельные лампы или испытываемые устройства имеют отличные от калибровочного источника измерительной системы радиометрические параметры. Для эффективной калибровки необходимо знать линейность системы и измерения должны производиться в этой линейной области. Нелинейность системы может быть скорректирована с использованием калибровочной функции, чтобы привести ее к линейной форме. Примечательно, что такая коррекция должна применяться и к калибровке, и к измерениям.

В.3 Калибровочные источники

Для УФ-диапазона рекомендуется использовать дейтериевые разрядные лампы, для длин волн выше УФ-диапазона, видимого и ближнего ИК-диапазонов спектра — калиброванные вольфрамовые или вольфрамовые галогенные лампы. Дейтериевые лампы могут изменять выходной уровень без изменения формы спектра, поэтому

калибровка системы в диапазоне 200—350 нм с использованием дейтериевых ламп должна быть скорректирована путем сравнения с калибровочным уровнем от вольфрамовых или вольфрамовых галогенных ламп в диапазоне 250—350 нм. Длина волны, при которой используются дейтериевые лампы, должна быть наименьшей, насколько это практически возможно; при этом необходимо учитывать шум, возникающий в вольфрамовых или вольфрамовых галогенных калибровочных лампах.

Приложение С
(справочное)

Анализ неопределенности

При анализе неопределенности требуется, чтобы все составляющие были выражены количественно. Первый этап в анализе неопределенности — это определение различных составляющих. Ниже указан список, который может быть отправной точкой для расчета неопределенности при классификации ламп и ламповых систем. Дальнейшие подробности указаны в CIE 53:1982 «Методы оценки параметров радиометров и фотометров».

Измерительный прибор:

- Длина волны
- Ширина полосы пропускания
- Чувствительность по спектру
- Линейность
- Стабильность
- Побочное излучение — вне длины пути, внеполосное

Калибровка:

- Стандартная неопределенность (заданная)
- Расстояние
- Синхронность
- Электрический режим

Измерение

- Синхронность
- Расстояние
- Испытываемый источник — стабильность, температура, размер, электрический режим.

Отдельные факторы неопределенности должны быть найдены или оценены. Каждый фактор затем должен быть применен при измерениях для определения его влияния на взвешенное значение, используемое для классификации опасности. Как видно из 5.3.3, процент влияния на взвешенное значение может отличаться от процента конкретного фактора неопределенности. Это видно на примере изменения выходных характеристик лампы как функции от потребляемого тока. Изменение тока изменяет энергию, рассеиваемую лампой, и, кроме того, изменяет сопротивление лампы и температуру. Изменение тока не будет линейно изменять общие выходные характеристики. Вследствие изменения температуры выходные характеристики на одной длине волны могут не приводить к изменению общих выходных характеристик. Хотя изменения не линейны, для малых изменений они могут считаться линейными. Обычный способ определения влияния фактора неопределенности — определение значения изменения выходной величины по отношению к изменению входной величины. Это отношение влияния на изменение входной величины называется чувствительностью. В примере для лампы накаливания изменение тока лампы на небольшое значение приводит к изменению выходных характеристик на интересующей длине волны, как показано в таблице С.1.

Таблица С.1 — Пример влияния неопределенности

	Ток лампы	Сигнал на 300 нм
Установка 1	8,200 0	8 451
Установка 2	8,201 1	8 461
Изменение	0,013 4 %	0,118 %

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

Неопределенность в 0,1 % по току дает неопределенность в 0,9 % в выходных характеристиках при длине волны 300 нм.

Каждая из неопределенностей должна быть приведена к конечному значению и выражена в процентах. Стандартные неопределенности слагаются в квадратуре, и эта суммарная стандартная неопределенность, выражаемая в процентах, указывается вместе с измеренным значением.

Приложение D
(справочное)

Общие ссылки

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists [Американская конференция правительственных промышленных гигиенистов]). TLVs and BEIs; *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents*; Biological Exposure Indices (Пороговые предельные значения для химических и физических веществ. Индексы биологического облучения). Cincinnati, ACGIH.

ANSI/IESNA (American National Standard Institute/Illuminating Engineering Society of North America [Американский институт национальных стандартов/Общество светотехников Северной Америки]) RP27.1-96. *Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps — General Requirements* (Рекомендуемая практика светобиологической безопасности ламп. Общие требования). New York, IESNA, 1996.

ANSI/IESNA (American National Standard Institute/Illuminating Engineering Society of North America [Американский институт национальных стандартов/Общество светотехников Северной Америки]) RP27.2-00. *Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps — Measurement Systems — Measurement Techniques* (Рекомендуемая практика светобиологической безопасности ламп. Системы измерения. Техника измерения). New York, IESNA, 2000.

ANSI/IESNA (American National Standard Institute/Illuminating Engineering Society of North America [Американский институт национальных стандартов/Общество светотехников Северной Америки]) RP27.3-96. *Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps — Risk Group Classification & Labeling* (Рекомендуемая практика светобиологической безопасности ламп. Классификация групп риска и маркирование). 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 (Рекомендация по светобиологической безопасности ламп. Обзор стандартов. Коллекция МКО по светобиологии и светохимии) (1999).

CIE x016-1998 *Measurements of Optical Radiation Hazards* (Измерения оптической опасности излучения).

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection [Международная комиссия по защите от неионизирующего излучения]) Guidelines UV radiation exposure limits. *Health Physics* (Руководство по пределам облучения УФ-излучением) 71, 978 (1996).

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection [Международная комиссия по защите от неионизирующего излучения]) Guidelines on limits of exposure to broadband incoherent optical radiation (0.38 to 3μm). *Health Physics* (Руководство по пределам облучения широкополосным некогерентным оптическим излучением (от 0,38 до 3 мкм). Физика здоровья), 73, 539—554 (1997).

IEC Technical Report 60825-9 *Safety of laser products — Part 9: Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation* (Безопасность лазерных продуктов. Часть 9. Подбор максимально допустимого облучения некогерентным оптическим излучением), 1999.

IRPA/INIRC (International Non-Ionizing Radiation Committee [Международный комитет по неионизирующему излучению]) Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (Incoherent optical radiation). *Health Physics* (Руководство по пределам облучения ультрафиолетовым излучением с длиной волны от 180 до 400 нм (некогерентное оптическое излучение). *Физика здоровья*) 49, 331—340, (1985) and 56, 971—972, (1989).

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

SLINEY, D.H. and WOLBARSHT, M.L. *Safety with Lasers and Other Optical Sources* (Безопасность при работе с лазерами и другими оптическими источниками), New York, Plenum (1980).

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
CIE 17.4:1987	—	*
CIE 53:1982	—	*
CIE 63:1984	—	*
CIE 105:1993	—	*
ISO Guide to the expression of uncertainty in measurement, ISO, Geneva, 1995	—	*
* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.		

УДК 621.326-027.45(083.74)(476) МКС 29.140 IDT

Ключевые слова: лампа, ламповая система, лампы общего назначения, свет, яркость, оптическое излучение, энергетическая яркость, энергетическая освещенность, спектральная энергетическая освещенность, эритема, предельная доза облучения, освещенность, инфракрасное излучение, ультрафиолетовое излучение, видимое излучение

Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Л.С. Лысенко*
Компьютерная верстка *И.Ю. Литовкиной*

Сдано в набор 10.01.2024. Подписано в печать 05.02.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,65. Уч-изд. л. 3,95.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru